

УДК 623.486

М. О. ШИШАНОВ,*доктор технічних наук, професор,***М. М. ШЕВЦОВ,** *старший науковий співробітник,***О. Л. ЧЕЧЕНКОВА,** *старший науковий співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

Методологічні основи структурного синтезу систем відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ

Розглянуто основні принципи і задачі, що розв'язуються при організації та управлінні складними організаційно-технічними системами, а також необхідність використання методології структурного синтезу при формалізації задач коригування основних параметрів системи відновлення.

Ключові слова: агрегативна модель, відновлювальний ремонт, обслуговування заявок, озброєння та військова техніка, структура системи відновлення.

Рассмотрены основные принципы и задачи, которые решаются при организации и управлении сложными организационно-техническими системами, а также необходимость использования методологии структурного синтеза при формализации задач корректирования основных параметров системы восстановления.

Ключевые слова: агрегативная модель, восстановительный ремонт, обслуживание заявок, вооружение и военная техника, структура системы восстановления.

Однією з важливіших умов успішного розвитку держави є ефективне використання трудових, енергетичних, матеріальних ресурсів, а також науково-технічних досягнень. Підвищення ефективності в умовах ускладнення зв'язків між ними є неможливим без чіткого розмежування функцій та виявлення закономірностей їх взаємодії. Застосування традиційних методів керівництва, що ґрунтуються на інтуїції та досвіді керівника, стає недостатнім при функціонуванні організації з багатьма змінними внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Ризик прийняти помилкове чи малоефективне рішення різко зростає. Тому на перший план виступають дії керівництва, що ґрунтуються на науковому підході при прийнятті раціональних рішень в умовах невизначеності [1].

Науковість керівництва на сучасному етапі залежить від ступеня врахування багатьох закономірностей, що обумовлюють якість і ефективність функціонування об'єкта або організації (системи об'єктів або організацій). До таких закономірностей можна віднести цільові фактори, що визначають доцільність існування об'єкта; внутрішні зв'язки, що визначають цілісність об'єкта; зовнішні відношення, що визначають взаємозв'язок цього об'єкта з іншими.

Врахування зазначених закономірностей призводить до необхідності аналізу функціонування об'єктів і врахування кожної з них або деяких, які розроблено достатню кількість. Застосування цих методів дає позитивний ефект при аналізі простих процесів, але при аналізі складних процесів у сучасних складних системах необхідні методи, що дозволяють враховувати роль і вплив багатьох факторів і закономірностей. Одним з таких методів, що знайшли застосування в науці, виробництві й інших галузях, є системний підхід.

Задача визначення оптимальної структури системи відновлення відноситься до класу задач синтезу складних ієрархічних систем.

Існує три найбільш поширені методи розв'язання задач цього класу: аналітичний, числовий (статистичного пошуку або динамічного програмування), комбінований (метод, що ґрунтується на поєднанні аналітичного методу і методу статистичного моделювання процесів функціонування складних систем). Аналіз показує, що для оптимізації структури системи відновлення озброєння та військової техніки (ОВТ) угруповання військ найбільш доцільний останній метод, з погляду практичного використання, – комбінований метод оптимізації системи відновлення ОВТ (СВ ОВТ), заснований на використанні аналітичного методу та методу статистичного моделювання процесів функціонування складних систем. Але застосування цього методу пов'язане з необхідністю накладання деяких обмежень на характер зміни окремих параметрів самої системи і параметрів, що характеризують зовнішні умови її функціонування.

Вирішення задачі визначення раціональної структури СВ ОВТ, розрахунку основних її параметрів комбінованим методом містить два етапи. На першому етапі, виходячи з вимог до припустимих термінів здійснення відновлювального ремонту (ВР), аналітичним шляхом

визначається раціональна структура системи ВР в цілому. На другому етапі з використанням методу статистичного моделювання здійснюється розрахунок основних параметрів цієї системи.

Для виконання сформульованого на першому етапі завдання попередньо введемо поняття про контур ВР, під яким будемо розуміти деяку сукупність комплектів (засобів) ВР, ідентичних за своїм складом і спроможностями, і поняття про неоднорідний вхідний потік, вимоги в якому відрізняються за складністю та обсягом, необхідними для їх обслуговування, завдань з ВР. Поява вимоги i -го вигляду ($i \in 1, k$) у потоці має ймовірнісний характер, тобто така подія, як надходження до СВ ОБТ вимоги i -го вигляду, виникає з деякою ймовірністю

$$W_i \left(\sum_{i=1}^k W_i = 1 \right) \quad (1)$$

З врахуванням введених понять розв'язувана задача першого етапу може бути зведена до такої постановки: визначити, яка кількість контурів ВР має бути й які мають бути спроможності кожної з них (з погляду можливостей щодо задоволення вимог певного виду), при яких СВ ОБТ буде здатна забезпечувати виконання обсягів завдань з ВР у необхідні строки (з необхідною продуктивністю).

Слід зазначити, що, в принципі, число варіантів побудови СВ ОБТ, кожен з яких може відповідати поставленим до нього вимогам, може бути як завгодно великим, але нас влаштовуватиме тільки той з них, витрати на створення якого будуть найменшими з усіх варіантів.

Для вирішення цього завдання скористаємося методом варіантного синтезу, обмеживши спочатку число варіантів побудови СВ ОБТ, що проаналізовано, відкинувши варіанти, що явно не відповідають запропонованим вимогам до спроможностей цієї системи або є недоцільними з погляду вартісних витрат.

Якщо розглядати завдання синтезу структури СВ ОБТ, елементи якої розосереджені на певній площі місцевості (наприклад, відповідно з угруповання військ), то потрібно при розрахунках враховувати й той факт, що заявки у вхідному потоці обсягів завдань з ВР різняться не тільки складністю та обсягом обслуговування, але і значенням координат точок свого виникнення відносно координат місць розміщення засобів ВР цієї системи. Інакше кажучи, виникає завдання з обслуговування двовимірною потоку вимог. Наявність другого виміру

призводить, зрештою до того, що допустимий час перебування кожного обсягу робіт у системі ВР $T_{\text{прд}}$ скорочується на деяку величину T_d , рівну часу, потрібному для прибуття засобів ремонту (ЗР) до місця виконання завдань. Це, у свою чергу, призводить до того, що допустимий час обслуговування кожної заявки ВР скорочується, що еквівалентно, у кінцевому підсумку, підвищенню вимог до спроможностей перспективної СВ ОБТ. Природно вважати, що структура СВ ОБТ була б ідеальною під час виконання умови $T_d=0$. Але реалізація такої системи стає досить ускладненою через те, що названа умова здійсненна тільки за наявності досить ефективних елементів (засобів ВР) СВ ОБТ на кожному об'єкті, що потребує ВР. Такі засоби мають бути здатні виконати обсяг робіт з ВР будь-якої складності (обслужити заявку будь-якого вигляду). Іншою протилежністю побудови ідеальної СВ ОБТ є створення деякого універсального одного ЗР, спроможності якого мають бути настільки великими, що тривалість виконання робіт кожного виду не перевищуватиме величини $T_{\text{прд}}$ при будь-якому значенні T_d . Реалізація такої системи також вимагає величезних вартісних витрат, а в деяких випадках (у залежності від комбінації значень $T_{\text{прд}}$ і T_d) вона, по суті, нездійсненна. У зв'язку з цим потрібно визначити певний проміжний варіант побудови СВ ОБТ. Як приклад для аналізу зупинимося на трьох варіантах побудови багатоконтурних систем (рис. 1), що можуть бути реально реалізовані.

При першому варіанті сили та засоби кожного контуру СВ ОБТ дозволяють обслуговувати заявки будь-яких видів, усі контури ВР ідентичні. Загальний потік вимог рівномірно розподіляється по всіх контурах ($\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda/n$).

При другому варіанті кожен контур ВР призначається для обслуговування заявок тільки певного вигляду. Заявки на обслуговування до входу l -го контуру ідентичні за своїм виглядом, а інтенсивність їх надходження визначається із співвідношення

$$\lambda_l = \lambda \alpha_l, \quad \sum_{l=1}^n \alpha_l = 1, \quad (2)$$

де α_l – коефіцієнт, що характеризує частку заявок, які можуть бути обслужені в l -му контурі ВР.

При третьому варіанті сили та засоби кожного контуру дозволяють обслуговувати тільки заявки певних видів, при цьому кількість видів заявок, що можуть

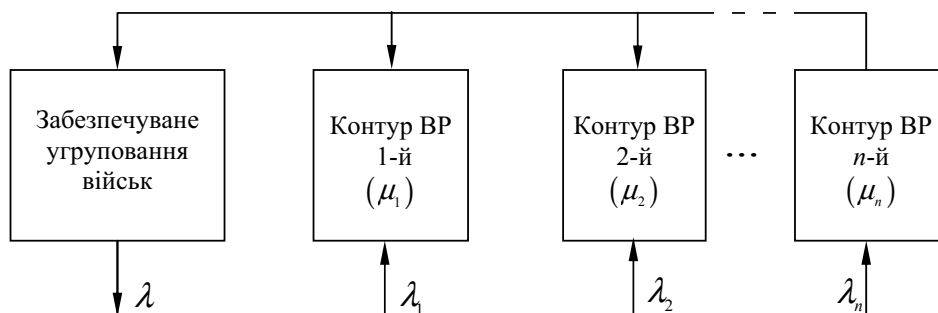


Рис. 1. Багатоконтурна СВ ОБТ

бути обслужені в кожному контурі, зростає у міру зростання номера контуру СВ ОВТ від $l=1$ до $l=n$. У такому випадку інтенсивність потоку вимог до входу кожного з контурів ВР може бути розрахована із співвідношень [2]

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda\alpha_1 \left(1 - \frac{\alpha_1 T_1}{\sum_{l=1}^n \alpha_l T_l} \right), \\ \lambda_2 &= \lambda\alpha_1 \frac{\alpha_1 T_1}{(n-1)\sum_{l=1}^n \alpha_l T_l} + \lambda\alpha_2 \left(1 - \frac{\alpha_2 T_2}{\sum_{l=1}^n \alpha_l T_l} \right), \\ &\dots \\ \lambda_n &= \lambda\alpha_1 \frac{\alpha_1 T_1}{(n-1)\sum_{l=1}^n \alpha_l T_l} + \lambda\alpha_2 \frac{\alpha_2 T_2}{(n-2)\sum_{l=1}^n \alpha_l T_l} + \dots + \lambda\alpha_n, \end{aligned} \quad (3)$$

де T_l , $l \in \overline{1, n}$ – середній час обслуговування заявок у l -му контурі ВР.

Вимоги до спроможностей кожного контуру СВ ОВТ (інтенсивність обслуговування заявок) можуть бути визначені із співвідношень вигляду [2]:

для першого варіанта побудови СВ ОВТ

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n = \frac{1}{n\tau}; \quad (4)$$

для другого варіанта побудови СВ ОВТ

$$\mu_l = \frac{\alpha_l}{\tau}; \quad (5)$$

для третього варіанта побудови СВ ОВТ

$$\mu_l = \frac{1}{T_l}, \quad \sum_{l=1}^n \mu_l = \frac{1}{\tau}, \quad (6)$$

де τ – допустима тривалість обслуговування кожної заявки в системі ВР.

Отже, зі збільшенням n зростає T_d , а це, у кінцевому підсумку, призводить до зменшення потрібного значення величини $\mu_l(n)$, $l \in \overline{1, n}$. Але зростання кількості контурів ВР n тягне за собою збільшення витрат $C_\mu(n)$ на реалізацію кожної одиниці продуктивності $\mu_l(n)$ за рахунок додаткових витрат, пов'язаних з територіальним розосередженням (деконцентрацією) районів виконання робіт з ВР (якісно така залежність зображена на рис. 2).

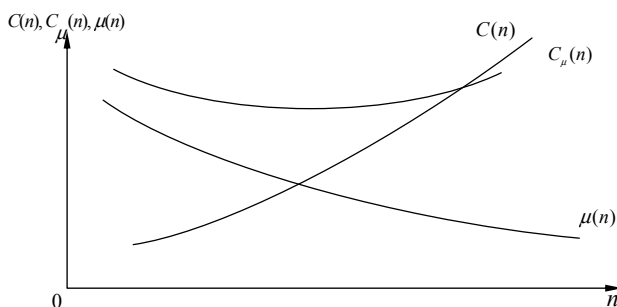


Рис. 2. Залежність вартості реалізації СВ ОВТ від числа контурів ВР

Для визначення оптимальної кількості n_0 контурів ВР у СВ ОВТ при j -му варіанті її побудови ($j \in \overline{1, 3}$) потрібно розв'язати рівняння вигляду [3]

$$\frac{dC_j(n)}{dn} = \frac{d \left[\sum_{l=1}^n C_{\mu}(n) \mu_l(n) \right]}{dn} = 0. \quad (7)$$

Далі, перевіривши виконання нерівності

$$\left. \frac{d^2 C_j(n)}{dn^2} \right|_{n=n_0} > 0, \quad (8)$$

за умови $C(n_0) = \min\{C_j(n_0)\}$, здійснюється вибір оптимального варіанта побудови СВ ОВТ у цілому.

Розглянемо порядок виконання завдання другого етапу, тобто завдання щодо розрахунку основних параметрів СВ ОВТ, до яких відносяться параметри, що характеризують структуру та склад сил і засобів ВР кожного контуру СВ ОВТ.

Вирішення цієї задачі аналітичним шляхом є, як правило, складним, а в деяких випадках, по суті, неможливим через наявність великого числа взаємних зв'язків як між різнорідними контурами ВР, так і між різнорідними ЗР.

У зв'язку з цим для вирішення задач такого вигляду більш доцільно використовувати метод статистичного моделювання детального або агрегативного. Розглянемо загальний підхід до вирішення завдання другого етапу методом статистичного агрегативного моделювання. Для викладення цього методу конкретизуємо умови вирішуваної задачі. Будемо вважати, що за результатами виконання завдання першого етапу отримана раціональна структура СВ ОВТ в цілому являє собою триконтурну систему, кожен контур якої може обслуговувати заявки тільки певного вигляду, при цьому контур ВР з більш високим порядковим номером може обслуговувати всі види заявок, що можуть обслуговуватися будь-яким з контурів з меншим порядковим номером. Вхідний потік у цій системі має заявки трьох видів, що відрізняються між собою складністю необхідних для їх обслуговування робіт (до заявок першого вигляду відносяться заявки, для обслуговування яких потрібно виконувати роботи з ВР малої складності; до заявок другого вигляду відносяться заявки, для обслуговування яких потрібно виконувати роботи з ВР середньої складності; до заявок третього вигляду відносяться заявки, для обслуговування яких потрібно виконувати роботи з ВР великої складності).

Варіант агрегативної моделі такої СВ ОВТ зображено на рис. 3. На рисунку агрегатами $A_I^{(1)}, A_{II}^{(2)}, A_{III}^{(3)}$ моделюється функціонування контурів ВР, призначених для виконання робіт з ВР малої, середньої та великої складності.

До входу кожного агрегату надходить вхідний сигнал, що являє сукупність параметрів, що визначають характер заявок на виконання робіт з ВР. На виході агрегату формується вихідний сигнал, що описує параметри обслугованих заявок силами і засобами, процесі функціонування яких моделюються в даному агрегаті.

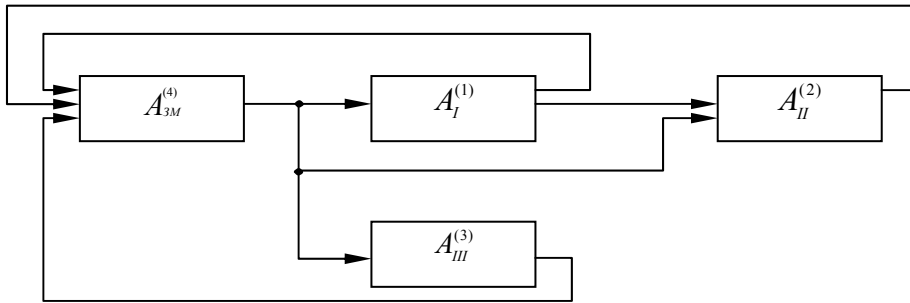


Рис. 3. Агрегативна модель СВ ОБТ

Здійснити моделювання процесу функціонування системи при вирішенні всіх завдань одночасно досить складно. Більш доцільно здійснити моделювання процесів функціонування агрегативної системи по кожному виду вирішуваних задач.

Розглянемо спочатку процес обслуговування заявок у системі при наявності можливості їх проходження по всіх або більшості агрегатах. Структура можливих зв'язків у такій моделі зображена на рис. 4.

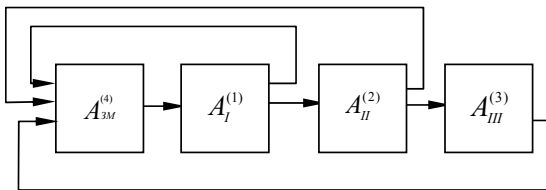


Рис. 4. Структура зв'язків у агрегативній моделі

Математична формалізація цих зв'язків може бути подана в табличній формі (табл. 1).

Таблиця 1. Формалізація зв'язків у агрегативній моделі

Номер попереднього агрегату	Ознаки зв'язку r і $(r+n)$ -го агрегатів при $r+n$, рівному			
	4	1	2	3
4	-	1	0	0
1	1	-	1	0
2	1	0	-	1
3	1	0	0	-

Формалізація зв'язків між агрегатами моделі здійснена з умови

$$\eta(r, r+1) = \begin{cases} 1, & \text{якщо зв'язок між } r\text{-м та } (r+1)\text{-м агрегатами є;} \\ 0, & \text{якщо зв'язок відсутній,} \end{cases} \quad (9)$$

де r – номер агрегату в системі ($r \in \overline{1, n}$).

Ця модель дозволяє описати реальні зв'язки в СВ ОБТ, складається з l ($l = \overline{1, 3}$) контурів, кожен з яких здатен виконувати γ^l різних видів операцій з ВР, відповідно до γ^l заявок на виконання обсягів завдань з ВР в інтересах забезпечення угруповання військ. Загальна кількість видів операцій з ВР, що виконується в моделюючій системі, визначається із співвідношення

$$\gamma = \sum_{l=1}^3 \gamma_l. \quad (10)$$

Для формального опису змісту зв'язків у моделі, що розглядається, потрібно визначити для кожного агрегату, що входить до системи ВР, вхідні і вихідні сигнали.

Агрегат $A_{3M}^{(4)}$ можна розглядати як зовнішнє джерело, на виході якого у відповідний момент часу t_j формується сигнал, що описує заявку на виконання робіт з ВР. У загальному випадку вважатимемо, що кожна заявка характеризується моментом видачі t_j і n параметрів $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$. Іншими словами, кожна заявка є вектором розмірністю $(n+1)$:

$$A_{3M}^{(4)} = (t_j, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n). \quad (11)$$

Як параметри вихідного сигналу агрегату $A_{3M}^{(4)}$ можуть розглядатися такі:

γ_1 – параметр, що визначає групу операцій, доступних для виконання в 1-му контурі ВР;

γ_2 – параметр, що визначає групу операцій, доступних для виконання в 2-му контурі ВР;

γ_3 – параметр, що визначає групу операцій, доступних для виконання в 3-му контурі ВР.

При цьому вважається, що

$$\gamma_r = \begin{cases} 1, & \text{якщо заявки потребують проведення } r\text{-ї групи робіт з відновлення;} \\ 0, & \text{якщо не потребують, } r \neq k. \end{cases} \quad (12)$$

Вихідний сигнал агрегату $A_{3M}^{(4)}(Y_{3M}^{(4)})$ є вхідним сигналом для агрегату $A_I^{(1)}(X_I^{(1)})$. Перетворення вхідного сигналу $X_I^{(1)}$ відповідно до алгоритму функціонування агрегату $A_I^{(1)}$ дозволяє отримати на виході цього агрегату сигнал $Y_I^{(1)}$, що, у свою чергу, розділяється на декілька складових, які є вхідними сигналами $X_{3M}^{(4)}$ і $X_{II}^{(2)}$ для агрегатів $A_{3M}^{(4)}$ та $A_{II}^{(2)}$ відповідно.

Визначення складової $X_{II}^{(2)}$ сигналу $Y_I^{(1)}$ можна здійснити за формулою

$$\underline{X}_{II}^{(2)} = \underline{Y}_I^{(1)\theta(1,2)}, \quad (13)$$

$$\text{де } \theta^{(1,2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ – матриця адресності між 1-м і 2-м агрегатами.}$$

Матриця адресності має $(r(x)+1)$ рядок і $(r(y)+1)$ стовпчик, де $r(y)$ – число параметрів вихідного сигналу від агрегату $A^{(r)}$, а $r(k)$ – число параметрів у вхідному сигналі для агрегату $A^{(r+n)}$.

Додатковий рядок і стовпець враховують момент видачі і прийому сигналу.

Аналогічно можна визначити дані про циркуляції сигналів між іншими агрегатами. Для цього потрібно визначити для кожної з них матриці адресності

$$\theta^{(1,5)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad \theta^{(2,3)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad \theta^{(2,5)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad \theta^{(3,4)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Таким чином, запропонована формалізація СВ ОВТ у вигляді агрегативної моделі зручна для введення в ЕОМ інформації про взаємодію контурів ВР і дозволяє встановити основні зв'язки в СВ ОВТ, визначити циркуляцію сигналів між контурами ВР і досліджувати кількісні взаємозв'язки між параметрами, що характеризують заявки на обслуговування та ефективність обслуговування.

Для аналізу динаміки функціонування СВ ОВТ, оцінки, наприклад, таких характеристик, як ймовірність перебування заявки, що обслуговується, в системі протягом часу, що не перевищує заданого, або числа заявок, які обслуговуються в системі за заданий час, тощо, її зручно представити у вигляді системи масового обслуговування. У такому випадку існує можливість інтерпретувати органи (засоби, комплекси) ВР у вигляді

комплексу моделей стохастичних систем масового обслуговування (СМО). Така інтерпретація правомірна, оскільки процес виконання певних технологічних операцій з ВР в інтересах забезпечення угруповання військ можна розглядати як процес обслуговування деякої сукупності заявок на виконання робіт з ВР, що надходить від скінченної кількості джерел. СМО при цьому розглядається як багатофазна, кожна фаза якої є багато-канальною змішаною неповнодоступною СМО з очікуванням.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Научные основы организации и управления ремонтом бронетанковой и автомобильной техники / под ред. М. И. Марютина. М. : ВАБВ им. маршала Р. Я. Малиновского, 1978. 376 с.
2. Ковтуненко А. П., Шишанов М. О., Зубарев В. В. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем : моногр. К. : Книжное изд-во НАУ, 2007. 296 с.
3. Ковтуненко А. П., Зубарев В. В., Ланецкий Б. Н., Зверев А. А. Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем : моногр. К. : Книжное изд-во НАУ, 2006. 236 с.

Рецензент О. О. Расстригин, д-р техн. наук, старший наук. співробітник
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)