

ФОРМАЛІЗОВАНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

к.т.н. О.О. Морозов
(подав д.т.н., проф. В.А. Краснобаєв)

На підставі використання моделі загальної теорії систем теоретико-множинного типу представлений формалізований опис системи метрологічного забезпечення і визначена сукупність та взаємозв'язок задач її синтезу.

Синтез системи метрологічного забезпечення (СМлЗ) як складної організаційно-технічної системи вимагає вирішення комплексу задач. Для визначення цих задач, їх взаємозв'язків та місця кожної з них у загальній задачі синтезу системи, необхідно мати формальний опис (математичну модель) системи.

Для вирішення сформульованої задачі при розробці моделі системи з математичної точки зору необхідно використовувати більш абстрактний та менш структурований її опис. Отримати такий опис СМлЗ можна представляючи її у вигляді моделі загальної теорії систем теоретико-множинного типу [1]. При такому представленні системи вона буде визначатися як відношення на мові теорії множин. Система метрологічного забезпечення буде визначатися в термінах її властивостей, що досліджуються, або точніше кажучи в термінах взаємозв'язків між цими властивостями, а не тим, що вони насправді собою представляють. Це дозволить вирішити більшість структурних питань, наприклад, проблему декомпозиції, координації та інші. І це узгоджується із самою природою системних досліджень.

Аналіз особливостей функціонування СМлЗ дозволяють представити її у вигляді динамічної системи $S_{МлЗ}$ із зворотним зв'язком [2]:

$$S_{МлЗ} \subset (X \times Z_x) \times (Y \times Z_y); \quad (1)$$

$$S_t^p = \{(x_t, y_t) : (\exists f) \times (y_t = \rho_t(f, x_t))\},$$

де X – множина вхідних змінних; Y – множина вихідних змінних; Z_x, Z_y – множина елементів зворотного зв'язку; ρ_t – реакція системи в момент часу $t, t \in \tau$ (τ – час функціонування СМлЗ) така, що $\rho_t : F_t \times X_t \rightarrow Y_t$. Тобто ρ_t – це функція, що зв'язує змінні X та Y ; \times – символ декартового добутку; f – елемент з об'єкту станів $F = \{f_t : t \in \tau\}$ СМлЗ $S_{МлЗ}$.

Для встановлення однозначної залежності між виходом Y , входом X та об'єктом станів F представимо СМлЗ, що визначена залежністю (1), у

вигляді кібернетичної моделі (рис. 1).

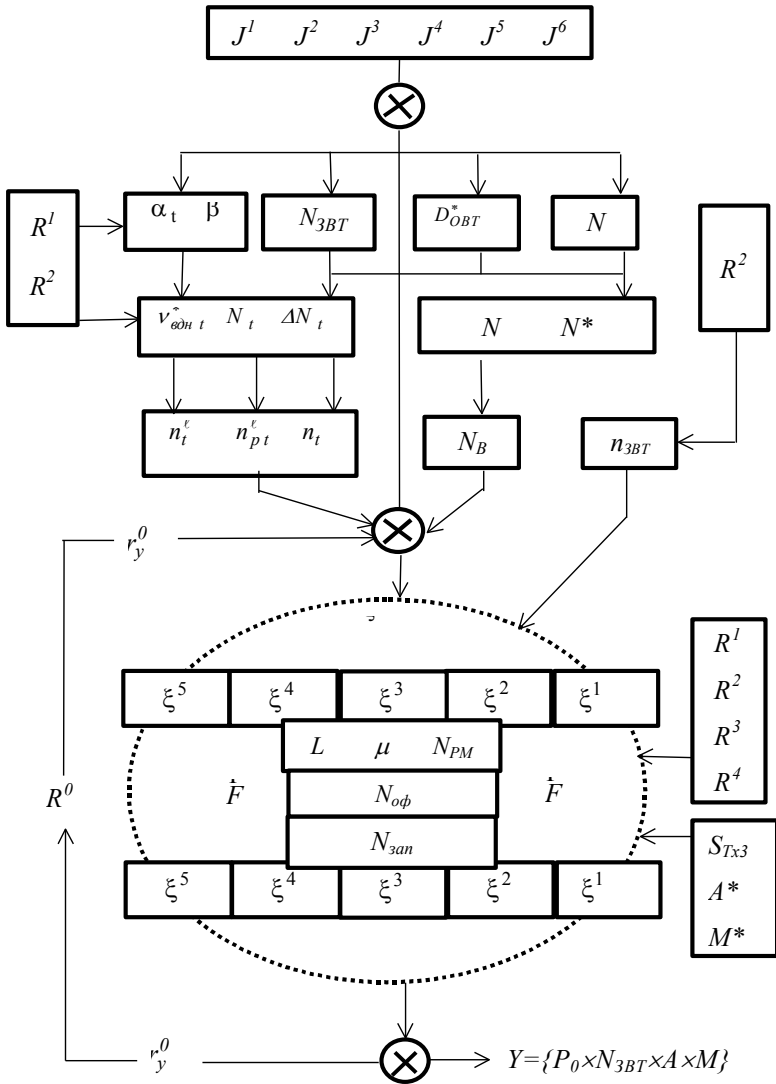


Рис.1. Кібернетична модель СМЛЗ

Слід зауважити, що суттєвими властивостями СМЛЗ є автономність A та мобільність M , які впливають на ефективність її функціонування [3]. Тому при синтезі системи необхідно враховувати вимоги до автономності та мобільності, які можуть використовуватися або як цільові функції, або обмеження на рішення задачі.

З аналізу моделі видно, що множина вхідних змінних характеризується співвідношенням

$$X = \{J^1, J^2, J^3, J^4, J^5, J^6; R^0, R^1, R^2, R^3, R^4; \tau; D_{OBT}^*; S_{Tx3}; A^*, M^*\}, \quad (2)$$

де J^1 – склад сил та засобів противника і побудова його бойових порядків; J^2, J^3, J^4, J^5 та J^6 – оперативний задум, бойовий склад угруповання військ (сил), порядок побудови та структура військ (сил), парк зразків ОВТ та характеристики зразків ОВТ відповідно; R^0, R^1, R^2, R^3 та R^4 – потоки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) між метрологічними органами (МЛО), метрологічні характеристики ЗВТ, транспортна мережа, порядок планування, управління та взаємодія МЛО, економічні показники на всіх рівнях організаційної структури СМЛЗ відповідно; D_{OBT}^* – коефіцієнт укомплектованості військ (сил) ОВТ, що вимагається; S_{Tx3} – склад сил та засобів технічного забезпечення; A^*, M^* – показники автономності та мобільності СМЛЗ, що вимагаються, відповідно.

Змінні $R^1, R^2, R^3, S_{Tx3}, A^*, M^*$ впливають на множину елементів об'єкта F безпосередньо, а інші елементи множини X – через парк ЗВТ, який можна представити як сукупність засобів, що входять до складу ОВТ N_{OBT} та таких, що не входять до їх складу N_{Tx3} . Більша частина ЗВТ N_{Tx3} входить до складу системи ТхЗ, що представлена відповідними силами та засобами S_{Tx3} . Кількість та номенклатура ОВТ визначається показниками J^4 та J^5 . Враховуючи, що значення N_{OBT} є функцією векторів J^5 та J^6 , парк ЗВТ можна охарактеризувати залежністю:

$$N = \Psi(J^3, J^4, J^5, J^6, S_{Tx3}). \quad (3)$$

У довільний момент часу $t \in \tau$ парк ЗВТ внаслідок впливу вражаючих факторів зброї, експлуатаційних відмов буде відрізнятися від початкового складу парку ЗВТ N і складе N_t . Причому, на місці застосування за призначенням у працездатному стані буде знаходитись тільки деяка частина від N_t , яку позначимо ΔN_t , що обумовлено необхідністю ремонту та перевірки ЗВТ впродовж τ . Позначимо через P_{0t} імовірність знаходження ЗВТ до моменту часу $t \in \tau$ на місці застосування у працездатному стані. Тоді множину вихідних змінних в моделі (рис. 1) можна представити у вигляді

$$Y = \{P_0 \times N \times A \times M\}. \quad (4)$$

Вплив виходу на вхід СМЛЗ здійснюється через елементи зворотного зв'язку R^0 , які повинні характеризувати рівень досягнення системою своєї цілі, визначеної як відповідність вимагаємої укомплектованості

угруповання військ (сил) ЗВТ $D_{ЗВТt}^*$ значенню укомплектованості ОВТ $D_{ОВТt}^*$ для кожного часу $t \in \tau$. З аналізу особливостей функціонування СМЛЗ слідує, що $D_{ОВТt}^* : \left[\left(D_{ОВТt}^* \right) \times \left(J^1, J^2, J^3 \right) \right]$. Тоді, враховуючи за-

лежність (3), вираз для визначення $D_{ЗВТt}^*$ можна представити у вигляді

$$D_{ЗВТt}^* = \Theta \left(J^1, J^2, J^3, J^5, J^6, D_{ОВТt}^* \right). \quad (5)$$

Так як з цілі функціонування системи слідує, що $D_{ЗВТt}^* \sim \left[\left(P_{0t}^* \times N_t^* \rightarrow P_{0t} \times N_t \right) \geq 0 \right]$, то досягти системою своєї цілі при

$P_{0t}^* \times N_t^* < P_{0t} \times N_t$ можна зростанням або значення параметрів N_t , або

P_{0t} . Отже необхідно, щоб $R_x^0 : \left[\left(R_x^0 \right) \left(\text{var } N_t; \text{var } P_{0t} \right) \right]$. Зростання імовір-

ності P_{0t} можливе тільки за рахунок поповнення із запасів ЗВТ $N_{зан}$.

Зміна величини P_{0t} може досягатися впливом на будь-який з елементів R^0, R^1, R^2, R^3 та R^4 при сполученні заданих параметрів множини X , які вимагаються, та фіксованому значенні N_t , що визначається в умовах ведення бойових дій втратами ЗВТ.

Функцію відносних втрат ЗВТ α_t , як видно з аналізу моделі (рис. 1), можна представити у вигляді

$$\left(\alpha_t; \beta \right) = \Xi \left(J^1, J^2, J^3, J^4, J^5, J^6; \tau; R^1, R^2 \right), \quad (6)$$

де β – коефіцієнт, що характеризує розподіл втрат ЗВТ n_t за видами пошкоджень: $\beta = \left\{ \beta_\ell^k : \left(\ell = \overline{1,4} \right) \wedge \left(k \in K \right) \right\}$; $\ell = 1$ – легкі пошкодження; $\ell = 2$ – середні пошкодження; $\ell = 3$ – тяжкі пошкодження; $\ell = 4$ – беззворотні втрати; k – кількість типів (видів) ОВТ, до складу яких входять ЗВТ.

Кількісне значення втрат ЗВТ n_t буде залежати на кожному наступному кроці бойових дій $\Delta t \in \tau$ від значень ΔN_t , α_t та $D_{ЗВТt}^*$. Так як $\left(\left(\Delta N_t = P_{0t} \times N_t \right) \vee \left(P_{0t}^* \rightarrow D_{ЗВТt}^* \right) \right)$, то $n_t = \Phi \left(\alpha_t, N_t, D_{ЗВТt}^* \right)$.

Прийнятою стратегією відновлення ЗВТ передбачається виконання тільки їх поточного та середнього ремонту або (і) повірки [4]. Тому обсяги ЗВТ n_{pt}^ℓ , що вимагають ремонту, можна представити співвідношенням

$$n_{pt}^\ell = \Omega \left(n_t, \beta \right). \quad (7)$$

В цьому випадку обсяги ЗВТ n_t^ℓ , що відновлюються в процесі ве-

дення бойових дій, буде однозначно визначатися значенням коефіцієнта відновлення ЗВТ $v_{\text{вднт}}^*$, що вимагається, тому $n_t^\ell = H(n_{pt}^\ell, v_{\text{вднт}}^*)$.

В умовах мирного часу з усього парку ЗВТ N метрологічного обслуговування на інтервалі часу потребують тільки засоби, які отримали експлуатаційні або метрологічні відмови N_g , що характеризуються коефіцієнтом α_{gt} , і у яких закінчився термін повірки t_{MIII} . Отже

$$N_g = \Sigma(N, t_{MIII}, \alpha_{gt}, \beta). \quad (8)$$

Таким чином, на метрологічне обслуговування до СМЛЗ в умовах воєнного часу надходить n_t^ℓ ЗВТ, а мирного – N_g .

Як складові та комплектуючі частини ОВТ, засоби вимірювальної техніки можуть надходити на обслуговування разом із зразками ОВТ на будь-який рівень системи. Оскільки структура СМЛЗ повинна відповідати структурі системи технічного забезпечення, можна виділити декілька організаційних рівнів ξ^v системи (наприклад, ξ^1 – ремонтні підприємства (капітальний ремонт), ξ^2 – ремонтно-відновні органи Центру, ξ^3 – регіональні бази вимірювальної техніки (РБВТ) (БВТ видів ЗС), ξ^4 – БВТ об'єднань (з'єднань) та ξ^5 – лабораторії (пункти) вимірювальної техніки. Крім того, систему можна представити у вигляді двох підсистем $\bar{\zeta}$ – підсистем повірки ($\bar{\zeta} = 1$) та ремонту ($\bar{\zeta} = 2$) ЗВТ.

Визначимо елемент зворотного зв'язку $r_x^0 \in R_x^0$, що впливає на зміни P_{0t} , як частку парку ЗВТ, що вимагають обслуговування (n_t^ℓ, N_g) та направляються на ξ^v -й рівень в $\bar{\zeta}$ -ту підсистему. Тоді множину альтернативних варіантів організації обслуговування ЗВТ можна характеризувати величиною $S_{MIZ}^0 \subset \bar{\zeta} \times \xi^v \times R^0$. В кожній з підсистем сполучень $p \in (\bar{\zeta} \times \xi^v)$ процеси обслуговування мають жорстко визначені характер та направленість, що відображають залежність між елементами системи S_{MIZ} та дозволяють знайти витрати на функціонування кожного $p \in (\bar{\zeta} \times \xi^v)$ (p – елемент системи S_{MIZ}) і час знаходження у ньому ЗВТ τ_p . При відомих τ_p імовірність знаходження ЗВТ на місці застосуванні у працездатному стані можна визначити із залежності $P_{0n} = E(\tau_p)$. При відомих P_{0n} кількість ЗВТ, що знаходяться на місці застосування у працездатному стані, формалізується співвідношенням $N_0 = Z(N_v, P_{0v})$.

Основний вплив на показники N_v, C_v, P_{0v} для кожного $p \in (\bar{\xi} \times \xi^v)$ будуть чинити параметри функціонування метрологічних органів. Такий орган можна представити у вигляді системи масового обслуговування з відповідними характеристиками [5]. Виходячи з цього, витрати на функціонування МЛО можна представити залежністю:

$$C_{\text{МЛО}} = \min C(N_{PM}, N_{\text{ОФ}}, L, t_{\text{прб}}), \quad (9)$$

де N_{PM} – кількість робочих місць з перевірки або ремонту ЗВТ; $N_{\text{ОФ}}$ – кількість ЗВТ, складаючих обмінний фонд; $t_{\text{прб}}$ – термін перебування ЗВТ у МЛО.

При відомих $C_{\text{МЛО}}$ визначити C_v для кожного рівня підсистеми $p \in (\bar{\xi} \times \xi^v)$ можна підсумовуванням витрат по всіх елементах $p \in S_{\text{МЛЗ}}$.

Висновки. 1. Для формального представлення СМЛЗ як складної системи, вирішення задач декомпозиції та агрегування при розв'язанні проблеми її синтезу, доцільно використовувати з математичної точки зору більш абстрактний та менш структурований опис системи.

2. При такому рівні узагальнення опису формалізовану модель системи метрологічного забезпечення слід представляти на мові загальної теорії систем теоретико-множинного типу. Це дозволяє розглядати систему як сукупність всіх проявів об'єкта дослідження, а не як сам цей об'єкт.

3. Абстрактне представлення СМЛЗ дозволяє встановлювати взаємозв'язки вхідних та вихідних змінних моделі й визначати основні задачі синтезу системи.

4. Наведені функціональні залежності фактично представляють комплекс задач синтезу СМЛЗ та відображають зв'язки між вхідними та вихідними параметрами системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Месарович М., Такахара Я. *Общая теория систем: математические основы.* – М.: Мир, 1978. – 311 с.
2. Лэсдон Л.С. *Оптимизация больших систем.* – М.: Наука, 1975. – 432 с.
3. Сычѳв Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. *Основы метрологии военной техники.* – М.: Воениздат, 1993. – 396 с.
4. *Основы теории метрологического обеспечения операций и боевых действий войск и сил флота / Под ред. А.Г. Фунтикова, В.А. Кузнецова: Учебно-методическое пособие.* – М.: Воениздат, 1991. – 120 с.
5. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. *Введение в теорию массового обслуживания.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1987. – 336 с.

Надійшла 04.10.2002

МОРОЗОВ Олександр Олександрович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, начальник наукового центру. У 1982 році закінчив Харківське ВВКІУ. Галузь наукових інтересів – системний аналіз і синтез складних систем метрологічного призначення.