

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

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

У статті розглядаються узагальнені процедури оцінки ефективності систем метрологічного забезпечення (СМлЗ) на підставі використання апарату теорії нечітких множин. Наведені алгоритми оцінки ефективності СМлЗ за їх компонентами та порівняння ефективностей однорідних систем.

Система метрологічного забезпечення відноситься до класу складних організаційно - технічних систем і поняття ефективності для таких систем є загальною та універсальною характеристикою. Вона може відноситись також і до системи в цілому, наприклад, її структури, функціонування, придатності до виконання покладених завдань і до окремих її властивостей - автономності, живучості, сумісності і т.ін.

Оцінка ефективності завжди містить суб'єктивні складові і, крім того, точно не відомо їх вплив на кінцевий результат. Це призводить до того, що використання звичайних методів для формалізованого опису поняття ефективності обмежене. Воно може бути проведено за допомогою апарату теорії нечітких множин [1].

Введемо універсальну множину варіантів побудови СМлЗ  $S$ . Її елементами можуть бути підсистема ремонту, підсистема повірки (калібрування) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), підсистема постачання засобів вимірювальної техніки, тощо. Позначимо через  $\{X^i\}$  - підмножину однорідних СМлЗ  $i$ -го класу, а через  $X_k^i \in \{X^i\}$  -  $k$ -ту систему  $i$ -го класу,  $1 \leq i \leq n$ , де  $n$  - кількість класів (номенклатура варіантів побудови) системи метрологічного забезпечення.

Для кожної підмножини  $\{X^i\}$  розглянемо множину її відображень  $L_i^{\{X^i\}}$  у  $L_i$ , де  $L_i$  - деяка множина типа решітки, упорядкована або частково упорядкована, елементи якої мають нижню та верхню границі [2]. Множина  $L_i$  зв'язана з набором оцінок ефективності елементів підмножини  $\{X^i\}$  і, власно кажучи, для різних  $\{X^i\}$  може мати різну стру-

ктуру. Визначимо на  $L_i^{\{X^i\}}$  нечітку підмножину  $\tilde{X}^i = \{X_k^i, \lambda_{\tilde{X}^i}(X_k^i)\}$ , яка характеризує СМЛЗ певної ефективності та яка ставить у відповідність кожному елементу  $X_k^i$  елемент  $\lambda_{\tilde{X}^i}(X_k^i) \in L_i$ , що є оцінкою ефективності системи. Оцінка ефективності підмножини  $\{X^i\}$  залежить від оцінок ефективності її елементів. Таким чином, множині  $S$  ставиться у відповідність множина нечітких підмножин (їх добуток)  $\prod_{i=1}^n L_i^{\{X^i\}}$ , що характеризують системи певної ефективності, функції належності яких приймають значення відповідно у  $L_1, \dots, L_n$ .

Структура множини  $L_i$  залежить від сукупності аксіом, що визначають поняття ефективності. Наприклад,  $L_i$  може бути векторною решіткою, яка створена добутком множин, що відповідають показникам «границі ефективності».

### 1. Оцінка ефективності системи за її компонентами

Нехай є система,  $L$  - відображення якої містить  $(k + 1)$  - рівень:  $0, 1, \dots, k$ , причому на нульовому рівні є один елемент з оцінкою ефективності, на першому -  $\ell_1$  елементів з оцінками ефективності  $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \dots, \lambda_{1\ell_1}$  і т.д. (рис. 1)

Оцінка ефективності такої системи задається рекурентними співвідношеннями [3]:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \wedge \bigvee_{i_1=1}^{\ell_1} R_{i_1}^{(1)}, \quad R_{i_1}^{(1)} = \lambda_{1,i_1} \wedge \bigvee_{i_2=1}^{\ell_2} R_{i_2}^{(2)}, \quad R_{i_2}^{(2)} = \lambda_{2,i_2} \wedge \bigvee_{i_3=1}^{\ell_3} R_{i_3}^{(3)}, \dots,$$

$$R_{i_k}^{(k-1)} = \lambda_{(k-1),i_k} \wedge \bigvee_{i_k=1}^{\ell_k} R_{i_k}^{(k)}, \quad R_{i_k}^{(k)} = \lambda_{k,i_k},$$

де символи  $\bigvee$  та  $\wedge$  позначають відповідно операції взяття верхньої та нижньої границь, що визначені на решітці  $L_i$ ;  $R_{i_1}^{(1)}, R_{i_2}^{(2)}, \dots$  - оцінки ефективності паралельних гілок, що мають відповідно на першому, другому та наступних рівнях;  $\ell_1, \ell_2, \dots$  - кількість елементів на відпо-

відних рівнях;  $\lambda_0, \lambda_{m m_i}$  - оцінки ефективності елементів системи,  $n_m = l_1, l_2, \dots, l_k$ .

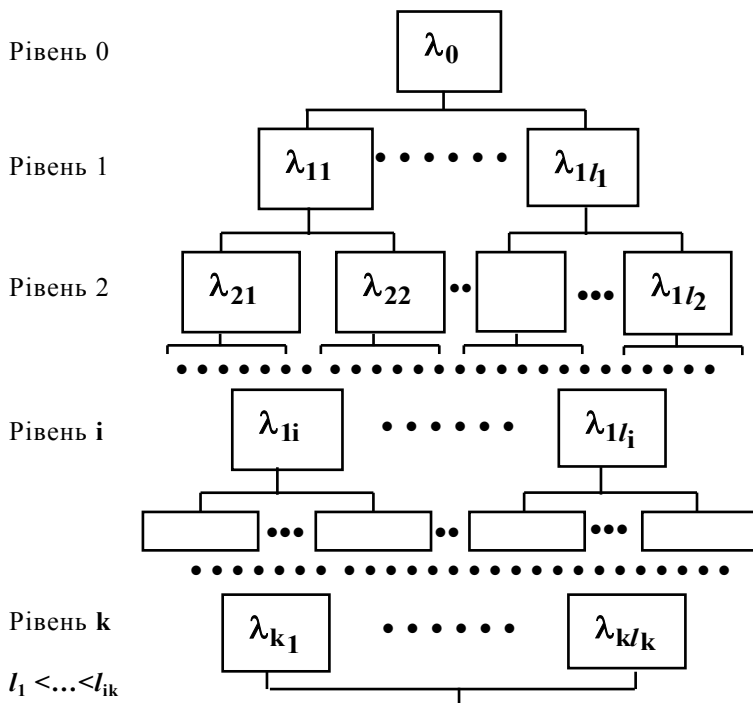


Рис.1. L - відображення системи з паралельно – послідовною структурою

У загальному випадку для СМЛЗ, яка може бути представлена у вигляді паралельно - послідовного з'єднання елементів (підсистем), отриманий результат дозволяє оцінити її ефективність по оцінках ефективності складових.

## 2. Порівняння ефективності систем

Така задача виникає як для однорідних систем (варіантів побудови СМЛЗ), так і для різнорідних, однопорядкових, взаємозв'язок яких погано піддається опису та які неможливо представити простою структурною схемою.

Розглянемо випадок однорідних систем. Нехай  $X_1^i, X_2^i$  - два варіанти побудови СМЛЗ з множини придатних варіантів, які необхідно

порівняти за ефективністю. Визначимо дві нечітких підмножини, пов'язаних з оцінкою ефективності систем  $X_1^i$  та  $X_2^i$ :

$$\tilde{X}_{(1)}^i = \left\{ X_{1(k)}^i, \lambda_{1(k)} \in L_i^{(k)} \right\},$$

$$\tilde{X}_{(2)}^i = \left\{ X_{2(k)}^i, \lambda_{2(k)} \in L_i^{(k)} \right\},$$

де  $k = \overline{1, n}$ ;  $X_{1(n)}^i, X_{2(n)}^i$  - властивості варіантів побудови СМЛЗ, якими можуть бути як виробничі можливості щодо ремонту ЗВТ, їх перевірки (калібрування) та інші, так і характеристики «граничної ефективності» - максимальні виробничі можливості, оперативність метрологічного обслуговування сукупностей ЗВТ, тощо.

Властивості  $X_{1(n)}^i$  та  $X_{2(n)}^i$  можуть оцінюватися за різними показниками і їх оцінки  $\lambda_{1(k)}$  та  $\lambda_{2(k)}$  відповідно приймати значення у множинах  $L_i^{(k)}$ , які мають різну структуру. Для отримання порівняльних оцінок ефективності можна застосувати наступну процедуру.

1. Структура кожної множини  $L_i^{(k)}$  представляється у вигляді простого графа та визначаються рівні порядку.

2. У кожному графі визначаються відстані, що відповідають різним показникам

$$D_{(k)}^i = \left| N_{1(k)}^i - N_{2(k)}^i \right|,$$

де  $N_{1(k)}^i, N_{2(k)}^i$  - рівні порядку відповідних оцінок для  $X_{1(k)}^i, X_{2(k)}^i$ .

3. Підраховуються відносні відстані між елементами

$$\Delta_{(k)}^i = D_{(k)}^i / N_{0i}^{(k)},$$

де  $N_{0i}^{(k)}$  - кількість рівнів порядку у  $L_i^{(k)}$ .

Відстані  $\Delta_{(k)}^i \in [0, 1]$  можуть розглядатися як значення функції належності.

4. Кожній відстані  $\Delta_{(k)}^i$  привласнюється знак «плюс» або «мінус» у відповідності із знаком різниці  $(N_{1(k)}^i - N_{2(k)}^i)$ :  $\Delta_{(k)}^{i*} = \pm \Delta_{(k)}^i$ . Значення

$\Delta_{(k)}^{i*}$  представляє собою відносну різницю оцінок ефективності варіантів побудови СОВБ парку ЗВТ  $X_{1(k)}^i$ ,  $X_{2(k)}^i$ , а його знак показує, яка оцінка більша.

Знайдемо тепер відносну узагальнену відстань між нечіткими множинами  $\tilde{X}_1^i$  та  $\tilde{X}_2^i$ :

$$\delta(\tilde{X}_1^i, \tilde{X}_2^i) = \left| 1/n \sum_{k=1}^n \Delta_{(k)}^{i*} \right|.$$

Привласнимо кожній  $\delta$  знак у відповідності із знаком суми  $\sum_{k=1}^n \Delta_{(k)}^{i*}$ :  $\delta^* = \pm \delta$ . Значення  $\delta^* = 0$  відповідає однаковій ефективності варіантів побудови систем, що порівнюються, а  $\delta^* = \pm 1$  - максимальній відмінності.

Із наведеного аналізу слідує, що зручно порівнювати різниці оцінок ефективності систем, а не самі оцінки, тобто оцінювати ефективність у шкалі інтервалів. Розглянута процедура дозволяє отримувати відносні експертні оцінки ефективності варіантів побудови СМЛЗ, що порівнюються.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – Радио и связь, 1982. – 423 с.
2. Гретцер Г. Общая теория решеток. – М.: Мир, 1982. – 260 с.
3. Анкундинов Г.И. Синтез структуры сложных объектов: Логико - комбинаторный подход. – Л.: Изд-во Ленинград. ун - та, 1986. – 260 с.

*Подана до редколегії 18.12.2000*