

К.І. Янгурський, І.В. Атаманова, В.М. Фаст  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

## ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ ЕЛЕКТРОРАДІОКОМПОНЕНТІВ

© Янгурський К.І., Атаманова І.В., Фаст В.М., 2011

Розв’язано задачу оптимального вибору автоматизованого технологічного обладнання для поверхневого монтажу електрорадіокомпонентів з використанням методу аналізу ієрархій Т. Сааті.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій, автоматизоване технологічне обладнання.

In the article the task of optimal choice of the automated technological equipment decides for the superficial editing electro- radio of components with the use of method of analysis of hierarchies of T. Saati.

Key words: method of analysis of hierarchies, automated technological equipment.

Технологічне обладнання вибирають з номенклатури наявного відповідно до типу виробництва і функцій, які необхідно виконати в технологічному процесі. Таке обладнання характеризується певною сукупністю властивостей і параметрів, найважливішими з яких можна назвати функціональні властивості, продуктивність, надійність, масо-габаритні, енергетичні, економічні характеристики тощо. Отже, вибирають обладнання з врахуванням багатьох критеріїв, причому частина з них (наприклад, продуктивність, надійність і економічність) можуть вступати в протиріччя між собою. Для розв’язання такої багатокритеріальної оптимізаційної задачі пропонується метод аналізу ієрархій, який розробив Т. Сааті\*.

Задача формалізується у вигляді ієрархічної структури з кількома рівнями. Ієрархія будується, починаючи з мети, яка розміщується на вершині структури, і через низку проміжних рівнів, на яких перебувають основні і ієрархічно підпорядковані їм часткові критерії, до найнижчого рівня, який містить перелік альтернатив. На рис.1 показана ієрархія, в якій для досягнення мети необхідно вибрати одну з трьох альтернатив А1, А2, А3, враховуючи чотири критерії К1, К2, К3, К4, які, в загальному випадку, можуть мати різну вагомість.

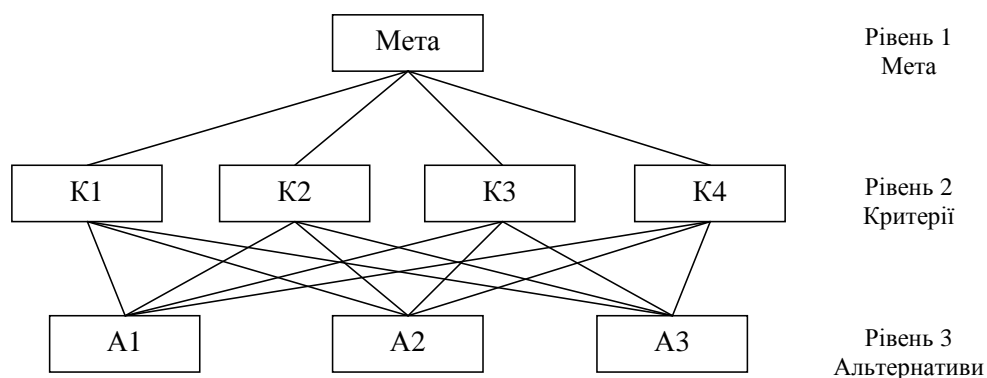


Рис. 1. Схема ієрархічної структури

\* Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

Методичною основою аналізу ієрархій слугує процедура попарних порівнянь елементів кожного рівня з отриманням результатів у кількісному вигляді за вибраною шкалою.

Загальна кількість попарних порівнянь  $n$  елементів  $A_1, A_2, \dots, A_n$  між собою становить

$$N = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (1)$$

На цій основі будується квадратна матриця порівнянь, рядки і стовпці якої утворюють альтернативи між порівнюваними елементами. Елемент матриці  $a_{ij}$  означає, що порівнюються  $A_i$  з  $A_j$ . Розміщені на головній діагоналі квадратної матриці елементи  $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{ij}, a_{jj}, \dots, a_{nn}$  дорівнюють одиниці, оскільки вони означають результат порівняння об'єкта з самим собою. Між елементами верхньої та нижньої частин матриці існує співвідношення  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ .

Отже, матриця порівнянь набуває вигляду:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1i} & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2i} & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1i}} & \frac{1}{a_{2i}} & \dots & 1 & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \frac{1}{a_{1j}} & \frac{1}{a_{2j}} & \dots & \frac{1}{a_{ij}} & 1 & \dots & a_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & \frac{1}{a_{in}} & \frac{1}{a_{jn}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Нормалізований власний вектор матриці

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_i \\ q_j \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix}, \quad (3)$$

утворює вектор пріоритетів, який розставляє порівнювані об'єкти в ряд за їх вагомістю (важливістю, перевагою) згідно з відповідною складовою  $q_j$ . Для отримання цього вектора обчислюється власний вектор матриці порівнянь  $\bar{W}$ , наприклад, знаходженням середнього арифметичного або середнього геометричного значення елементів кожного рядка матриці

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n} \quad \text{або} \quad w_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad (4)$$

який нормалізується, поділивши кожне з чисел  $w_j$  на суму всіх чисел в стовпці вектора  $\bar{W}$

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}. \quad (5)$$

Сума всіх елементів вектора пріоритетів  $\bar{Q}$  дорівнює одиниці.

Оскільки порівняльні оцінки отримують у результаті суб'єктивних міркувань експерта, необхідно перевірити ступінь їх узгодженості в матриці  $M$ . Така перевірка полягає у визначенні

максимального власного значення матриці порівнянь, тобто у перемножуванні суми елементів її стовпців на елементи вектора пріоритетів  $\bar{Q}$  та додаванні отриманих добутків

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot q_i \right), \quad (6)$$

і розрахунку індексу узгодженості  $\alpha = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$  та його порівнянні з індексом рандомізації  $\gamma$  для множини матриць тієї самої розмірності, згенерованих випадково

$$\beta = \frac{\alpha}{\gamma}. \quad (7)$$

Індекс рандомізації  $\gamma$  знаходять з таблиці для матриць з різною розмірністю  $n$ .

Коефіцієнт узгодженості  $\beta$  не повинен перевищувати 0,2. Якщо  $\beta > 0,2$ , то необхідно перевірити міркування стосовно попарних порівнянь об'єктів і знову визначити пріоритети з повторною перевіркою узгодженості матриці.

Методом аналізу ієрархій здійснено оптимальний вибір автомата – установника електрорадіокомпонентів для їх поверхневого монтажу на друкованих платах. Розглядали автомати фірми Samsung чотирьох типів, що побудовані за модульним принципом, мають комп'ютерні системи керування, які забезпечують роботу установочних головок і транспортних систем, а також взаємодію систем центрування, корекції і розпізнавання компонентів. Технічні характеристики автоматів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики автоматів-установників**

Параметри		Тип автомата			
		CP20C	CP45F	CP45FV	CP60L
Час встановлення компонента, с		0,37	0,19	0,19	0,1
Точність встановлення компонента, мм	Chip	±0,1	±0,08	±0,08	±0,065
	BGA, CSP	±0,05	±0,065	±0,04	±0,065
Кількість типів встановлюваних компонентів		3	3	4	5
Вартість, €		18700	27300	31500	37900
Надійність	Середній час безвідмовної роботи, год	17000	14000	14000	12000
	Середній термін служби, рік	10	7	7	10

Отже, розглядаються чотири альтернативи вибору за п'ятьма критеріями вищого ієрархічного рівня, два з яких (точність встановлення і надійність) комплексні і кожен складається з двох підкритеріїв нижчого рівня. Ієрархічна структура задачі зображена на рис. 2.

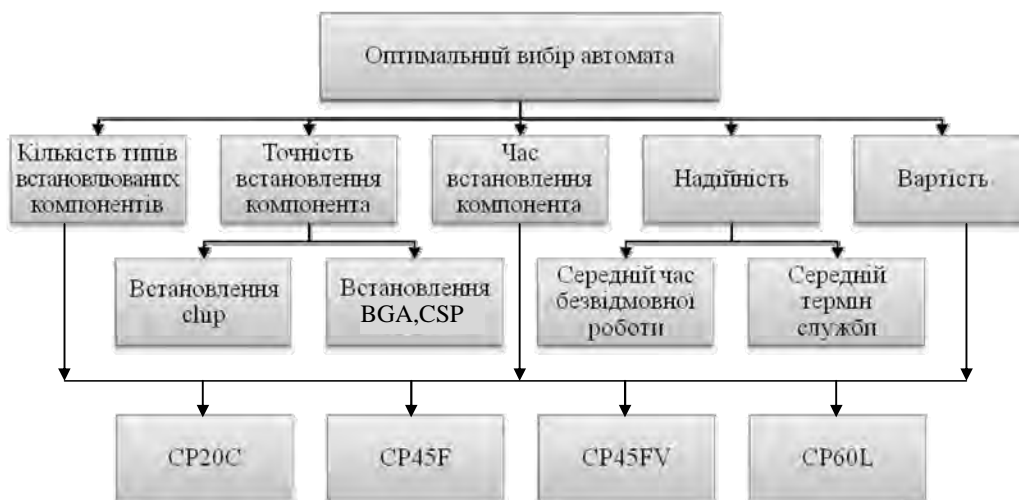


Рис. 2. Ієрархічна структура задачі оптимального вибору автомата-установника

Визначаємо вектор пріоритетів критеріїв вищого рівня з прикладом побудови матриці попарних порівнянь.

Таблиця 2

**Визначення вектора пріоритетів критеріїв вищого рівня**

Критерії	Кількість типів компонентів	Час встановлення компонента	Точність встановлення компонента	Надійність	Вартість	$\bar{W}$	$\bar{Q}$
Кількість типів компонентів	1,00	0,20	0,33	5,00	3,00	1,906	0,17125
Час встановлення компонента	5,00	1,00	2,00	9,00	7,00	4,800	0,43127
Точність встановлення компонента	3,00	0,50	1,00	7,00	5,00	3,300	0,29649
Надійність	0,20	0,11	0,14	1,00	0,50	0,390	0,33504
Вартість	0,33	0,14	0,20	2,00	1,00	0,734	0,06595
$\Sigma$	9,53	1,95	3,67	24,00	16,50	11,13	1,00000

Визначаємо вектори пріоритетів підкритеріїв нижчого рівня в складі відповідних критеріїв вищого рівня.

Таблиця 3

**Критерій – точність встановлення компонентів**

Альтернативи	Встановлення Chip	Встановлення BGA, CSP	$\bar{W}$	$\bar{Q}$
Встановлення Chip	1,00	0,33	0,6650	0,24953
Встановлення BGA, CSP	3,00	1,00	2,0000	0,75047
$\Sigma$	4,00	1,33	2,6650	1,00000

Таблиця 4

**Критерій – надійність**

Альтернативи	Середній час безвідмовної роботи	Середній термін служби	$\bar{W}$	$\bar{Q}$
Середній час безвідмовної роботи	1,00	5,00	3,00	0,83333
Середній термін служби	0,20	1,00	0,60	0,16667
$\Sigma$	1,20	6,00	3,60	1,00000

Визначаємо вектори локальних пріоритетів альтернатив за критеріями нижчого ієрархічного рівня. Власні вектори матриць порівнянь знаходимо як середні арифметичні значення їх рядків. Результати розрахунків наведені в табл. 5.

Таблиця 5

**Вектори локальних пріоритетів альтернатив за критеріями нижчого рівня**

Альтернатива	Альтернатива			
	Точність встановлення компонентів "Chip"	Точність встановлення компонентів "BGA, CSP"	Середній час безвідмовної роботи	Середній термін служби
CP20C	0,12054	0,29343	0,41386	0,37523
CP45F	0,23280	0,09898	0,23280	0,12477
CP45FV	0,23280	0,50861	0,23280	0,12477
CP60L	0,41386	0,09898	0,12054	0,37523

Встановлюємо локальні пріоритети альтернатив за критеріями вищого ієрархічного рівня. Для комплексних критеріїв "точність встановлення компонентів" та "надійність" пріоритети альтернатив знаходимо шляхом адитивного згортання векторів табл. 5 та табл. 3, 4, для критеріїв "кількість типів встановлюваних компонентів", "час встановлення компонентів" та "вартість" локальні пріоритети альтернатив знаходять попарними порівняннями.

Результати розрахунків наведені в табл. 6.

Таблиця 6

**Локальні пріоритети альтернатив за критеріями вищого ієрархічного рівня**

Альтернативи	Локальні пріоритети за критеріями вищого ієрархічного рівня				
	Точність встановлення компонентів	Надійність	Кількість типів компонентів	Час встановлення компонентів	Вартість
CP20C	0,25029	0,40742	0,09587	0,05795	0,50745
CP45F	0,13237	0,21479	0,09587	0,22367	0,29591
CP45FV	0,43979	0,21479	0,27776	0,22367	0,14337
CP60L	0,17755	0,16300	0,53050	0,49471	0,05297

Аналіз всіх побудованих матриць порівнянь показав їхню достатню узгодженість за значень коефіцієнта  $\beta$  від 0,0089 до 0,137.

Адитивне згортання векторів пріоритетів критеріїв табл. 2 та пріоритетів альтернатив табл. 6 дало змогу отримати глобальні пріоритети альтернатив за всіма критеріями

$$\begin{bmatrix} q_{CP20C} \\ q_{CP45F} \\ q_{CP45FV} \\ q_{CP60L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,16336 \\ 0,17926 \\ 0,29142 \\ 0,36606 \end{bmatrix}.$$

**Висновки**

Автомат – установник типу CP60L має найвищий глобальний пріоритет, тому саме його потрібно вибрати в якості устаткування для поверхневого монтажу компонентів на друковані плати в наявних умовах виробництва.

Отже, впровадження методу аналізу ієрархій дасть змогу розв'язати задачу оптимального вибору автоматизованого технологічного обладнання для поверхневого монтажу електрорадіокомпонентів з деякої кількості можливих варіантів за наявності багатьох критеріїв оцінки якості цих варіантів.