

УДК 621.317

## ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ СКЛАДОВОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ

© Віктор Засименко, Петро Столярчук, 2002

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація і сертифікація",  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Викладена концепція оцінки якості продукції. В основу оцінки покладений метод факторного аналізу. Коротко описаний загальний алгоритм для визначення номінальних, часткових і узагальнених математичних моделей якості. Пропонується факторний коефіцієнт якості, що вважається складовою комплексного коефіцієнта якості продукції.*

*Изложена концепция оценки качества продукции. В основу оценки положен метод факторного анализа. Кратко описан общий алгоритм для определения номинальных, частных и обобщенных математических моделей качества. Предлагается факторный коэффициент качества, который считается составляющей комплексного коэффициента качества продукции.*

*The concept of an estimating of an quality of production is set up. Method of the factor analysis is supposed here. The common algorithm for definition of nominal, partial and generalized mathematical models of quality is shortly described. The factor figure of merit is offered, which one is considered component of a integrated figure of merit for quality of production.*

### Формулювання задачі

Як правило, під сертифікацією продукції розуміють процедуру, результат якої гарантує, чи, навпаки, не гарантує відповідності між досліджуваним об'єктом (виробом, товаром, продукцією тощо) і науково обґрунтованими вимогами до нього, [1, 2, 3, 4]. Ці вимоги впливають з вимог споживача і викладені у технічних умовах на конкретну продукцію чи стандартах. Постає слушне питання: якою мірою підтверджується якість продукції при достовірних позитивних результатах сертифікаційних випробувань.

У [4] вже наводилась концепція сертифікації виробів на етапах становлення та розвитку сертифікації як науки. В основу цієї концепції покладено простий алгоритм аналітичного підходу до сертифікації новоствореної продукції, який полягає в побудові математичної моделі якості виробів. Такий підхід не суперечить методології доктора Генічі Тагучі, радника Японської асоціації стандартів та виконавчого директора Американського інституту постачальників [5].

У статті викладена концепція оцінки якості продукції при установлених вимогах до продукції у вигляді кількісно виражених параметрів, що мають певний фізичний зміст.

### Факторний аналіз як метод оцінки якості продукції

Якість як сукупність характеристик об'єкта, що стосуються його здатності задовольнити установлені та

передбачені потреби, рекомендується виражати у вигляді математичної моделі, про що говорилося раніше [4, 5, 6, 7]. Це пояснюється тим, що якість продукції як елемент діалектичного розвитку суспільства вимагає постійного покращання. Справедливо відзначено, що "не може бути покращено те, що не може бути виміряне і подане в математичних виразах" [5].

Подамо якість об'єкта, що підлягає сертифікації, у вигляді математичної моделі, яку назвемо номінальною математичною моделлю якості (НМЯ), як таку, що повною мірою задовольняє установлені стандартизовані вимоги:

$$Y_H = F_H(X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_K), \quad (1)$$

де  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_K$  – сукупність факторів впливу на якість продукції.

Наведена (1) номінальна математична модель якості у вигляді функціональної залежності від факторів впливу об'єднує:

- вхідну і вихідну характеристику об'єкта як системи;
- наявність складових компонентів системи;
- конструктивні особливості;
- техніко-економічні характеристики;
- споживчу цінність виробу;
- впливаючі чинники постачання (транспортування), зберігання і умови використання (споживання): атмосферні умови (температура, вологість,

тиск); гео- і геліопатологічні умови (вібрації, землетруси, наявність електромагнітних і електростатичних полів) тощо.

Цей перелік можна було би продовжити щодо кількісних характеристик, зокрема включаючи термін "робастність". У методології Г. Тагучі під робастністю розуміють стійкість або нечутливість характеристик якості продукту або процесу до впливу різних шумових чинників, що діють на цей продукт або процес протягом його життєвого циклу [5].

Побудова такої моделі у вигляді одного параметра оптимізації є складною задачею [8]. У зв'язку з цим пропонуємо такий алгоритм:

1) Можливі параметри оптимізації, які тією чи іншою мірою характеризують якість продукції, згрупуємо за кількісними факторами впливу, наприклад, див. рисунок:

$y_1$  – тактико-технічні характеристики з факторами впливу  $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k}$  (наприклад, точність, чутливість, габаритні розміри, діапазон використання, вагові та об'ємні характеристики, вміст складових частин, термін служби тощо);

$y_2$  – споживча цінність з факторами впливу  $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k}$ , наприклад, наявність корисних та шкідливих складових, токсичність, калорійність, діапазон і термін використання тощо);

$y_3$  – технологічність і економічність виробу з факторами впливу  $x_{31}, x_{32}, \dots, x_{3k}$  (наприклад, трудомісткість, кількість браку, інтенсивність відмов, вартість сировини тощо);

$y_4$  – робастність продукції з факторами впливу  $x_{41}, x_{42}, \dots, x_{4k}$  (діапазон оточуючих температур, вплив тиску та вологості, віброміцність, ударостійкість тощо).

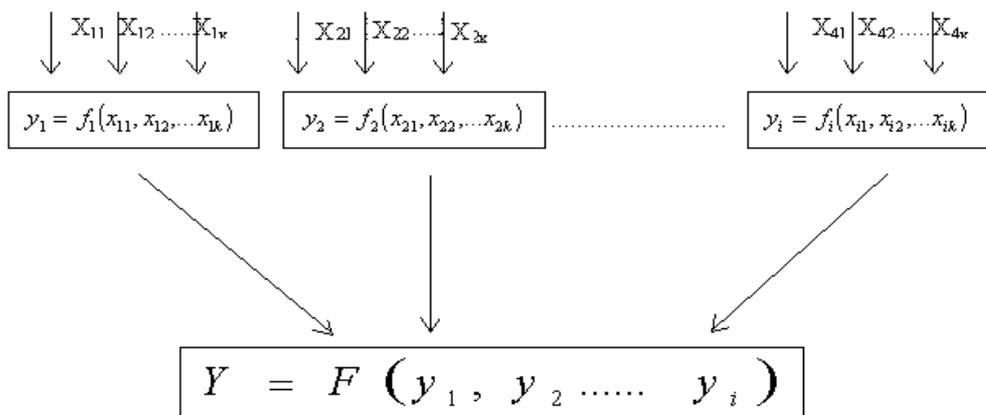


Схема групування факторів і відбору параметрів оптимізації для побудови математичних моделей

Вибираючи параметри оптимізації для кожної з груп факторів, рекомендується методом парної кореляції, [4, 8] виключити з розгляду параметри з сильними кореляційними зв'язками ( $|r| > 0,7$ ), фізично недостатньо визначені та такі, що важко реалізуються при кількісній оцінці.

2) Будуємо математичні моделі для кожного з відібраних параметрів оптимізації, які характеризують певну якісну сторону продукції. Для цього використовуємо відомий метод факторного аналізу [8]. Математичну модель будь-якого параметра оптимізації подамо у вигляді регресії

$$y_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}) = a_{i0} + a_{i1}x_{i1} + a_{i2}x_{i2} + \dots + a_{i1\dots ik}x_{i1}x_{i2}\dots x_{ik} + \xi_i \quad (2)$$

або

$$y_i = a_{i0} + \sum_{i=1}^k a_{i1}x_i + \sum_{i=1}^k a_{i\dots k}x_i\dots x_k + \xi_i, \quad (3)$$

де  $a_{i1\dots ik}, a_{i1\dots k}$  – коефіцієнти регресії факторів взаємодії або нелінійної частини  $i$ -ї математичної моделі;  $\xi_i$  – похибка  $i$ -ї математичної моделі.

Коефіцієнти регресії знаходять за формулами:

$$a_{i0} = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_n}{n}; \quad a_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_u \bar{y}_n}{n};$$

$$a_{i\dots k} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{u1} \dots x_{uk} \bar{y}_u}{n}, \quad (4)$$

де  $x_u$  – кодовані значення факторів [8],  $\bar{y}_n$  – середні значення, отримані при паралельних дослідах [8],  $n$  – кількість дослідів, що визначається для  $k$ -факторів, кожен з яких знаходиться на  $p$ -рівнях, як

$$n = p^k. \quad (5)$$

Математичні моделі, які характеризують певну якісну сторону продукції за параметрами оптимізації  $y_1, y_2, \dots, y_i$ , що описуються виразами типу (2), (3) і відтворюються з допустимими похибками  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i$ , будемо називати частковими математичними моделями якості (ЧМЯ).

3) На основі ЧМЯ будемо узагальнену математичну модель якості (УМЯ)  $Y = F(y_1, y_2, \dots, y_i)$  для конкретного виду продукції. Ця задача є значно складнішою і розв'язується на основі досвіду, знання, іноді інтуїції спеціаліста з якості. В зв'язку з цим пропонуються три можливі підходи до знаходження УМЯ:

1-й підхід: використовуючи всі параметри оптимізації  $y_1, y_2, \dots, y_i$  як фактори аналогічно до побудови попередніх моделей (2) – (5) будемо УМЯ виду:

$$Y_a = F_a(y_1, y_2, \dots, y_i) = A_0 + A_1 y_1 + A_2 y_2 + \dots + A_{12} y_1 y_2 + \dots + A_{1,2, \dots, i} y_1 y_2 \dots y_i + \xi_{ya} \quad (6)$$

Отримана узагальнена модель якості (6), що повною мірою задовольняє установлені вимоги, є адекватною номінальній математичній моделі (1), якщо результати відтворюються з задовільною похибкою  $\xi_{ya}$ .

Отже, номінальна математична модель якості продукції у вигляді виразу (6) вказує на масову частку впливу кожного з параметрів оптимізації певної сторони якості продукції на якість продукції загалом.

За наявності великої кількості ЧМЯ вираз для УМЯ буде громіздким. При трьох параметрах оптимізації УМЯ складатиметься з дев'яти членів:

$$Y_a = A_0 + A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3 + A_{12} y_1 y_2 + A_{13} y_1 y_3 + A_{23} y_2 y_3 + A_{123} y_1 y_2 y_3 + \xi_{ya}. \quad (7)$$

Для спрощення задачі бажано обмежуватись трьома ЧМЯ.

2-й підхід: за наявності трьох ЧМЯ можна подати УМЯ як:

$$Y_6 = f_1(y_1) + f_2(y_2) + f_3(y_3). \quad (8)$$

Для розв'язування задачі за формулою (8) поставимо рандомізований експеримент типу латинського квадрата  $n \times n$ , коли кожен з параметрів оптимізації знаходиться на  $n$  рівнях [8].

Отриманий результат для будь-яких значень параметрів оптимізації  $y_{1i}, y_{2j}, y_{3k}$  знаходимо як:

$$\begin{aligned} (Y_6)_{y_{1i}, y_{2j}, y_{3k}} &= \frac{\sum (Y_6)_{y_{1i}}}{n} + \\ &+ \frac{\sum (Y_6)_{y_{2j}}}{n} + \frac{\sum (Y_6)_{y_{3k}}}{n} - \bar{C} + \xi_6, \end{aligned} \quad (9)$$

де перші три члени є усередненими сумами результатів  $Y_6$  для вибраних рівнів оптимізації, а  $\bar{C}$  – усереднена поправка [8].

3-й підхід: подамо ЧМЯ у вигляді добутку:

$$Y_c = f_1(y_1) * f_2(y_2) * f_3(y_3), \quad (10)$$

Після постановки рандомізованого експерименту типу латинський квадрат  $n \times n$  отримаємо значення УМЯ для параметрів оптимізації  $y_{1i}, y_{2j}, y_{3k}$ :

$$(Y_c)_{y_{1i}, y_{2j}, y_{3k}} = \bar{K} * (Y_c)_{y_{1i}} * (Y_c)_{y_{2j}} * (Y_c)_{y_{3k}} + \xi_c, \quad (11)$$

де  $(Y_c)_{y_{1i}}, (Y_c)_{y_{2j}}, (Y_c)_{y_{3k}}$  – середні геометричні значення результатів  $Y_c$  для вибраних рівнів параметрів оптимізації,  $\bar{K}$  – усереднений коефіцієнт, що знаходиться за відомим підходом [8].

З трьох узагальнених моделей (7), (8) і (10) бажано користуватись тією, яка забезпечує найменшу похибку з трьох  $\xi_a, \xi_b$  і  $\xi_c$ . Найпростішою для застосування звичайно є модель  $Y_a$  у вигляді формули (6) чи (7).

*Номінальна характеристика якості та оцінка рівня якості продукції*

Номінальна характеристика якості продукції, як і будь-яка номінальна характеристика внаслідок різної технології, технічного і техніко-економічного розкиду показників та одиночних параметрів повинна мати допустимі межі відхилень. Це пояснюється тим, що номінальна модель якості НМЯ характеризує якість продукції, але не її рівень.

Тому для НМЯ є характерним таке співвідношення:

$$Y'(X_1, X_2, \dots, X_k) \leq Y_H(X_1, X_2, \dots, X_k) \leq Y''(X_1, X_2, \dots, X_k), \quad (12)$$

де  $Y'$  і  $Y''$  – математичні моделі відповідно для допустимої нижньої та верхньої меж якості.

Для тих видів продукції, для яких не вдається представити допустимі межі відхилень моделі якості, достатньо обмежитись НМЯ.

Оскільки для різних видів продукції вибирають різні параметри оптимізації та будують різні НМЯ з різним фізичним змістом, наприклад, близьким до питомого енергетичного коефіцієнта корисної дії, узагальненого параметра виявної здатності, критерію Джонсона тощо [8,10,11], то бажано користуватись відносним параметром якості.

Відносний параметр якості вказуватиме на ступінь наближеності якісних характеристик продукції певного виду до її НМЯ. Вираз

$$R = \frac{Y(X_1, X_2, \dots, X_K)}{Y_H(X_1, X_2, \dots, X_K)} \quad (13)$$

пропонується вважати рівнем якості або факторним коефіцієнтом якості (ФКЯ), який дорівнює 1 для НМЯ і знаходиться в межах

$$R' \leq R \leq R'', \quad (14)$$

нормованих для сертифікованої продукції.

Більше значення ФКЯ відповідатиме вищому рівню якості, що дасть змогу порівняти якість різних видів продукції.

#### *Ваговий вклад ФКЯ в коефіцієнт якості продукції*

ФКЯ, як видно з алгоритму його визначення, впливає з одиничних кількісно виражених параметрів, охоплених УМЯ. Тому ФКЯ може використовуватись самостійно або як складова загального коефіцієнта якості.

Застосовуючи ФКЯ як самостійно виражений параметр якості, поза розглядом такої оцінки залишаємо цілий ряд кількісно не виражених і не завжди фізично визначених параметрів. Зокрема це:

- ергометричні параметри;
- естетичні показники;
- галузі застосування та їх обширність;
- окремі показники уніфікації та стандартизації;
- патентно-правові показники;
- окремі показники транспортабельності продукції;
- деякі показники безпеки;
- окремі економічні параметри;
- економічні показники, що виражені попитом

продукції, тощо.

Перераховані параметри оцінюються відомими методами кваліметрії, як правило, з установленними ваговими коефіцієнтами, наприклад [7, 8, 11]. Тому, приводячи їх до одиниці при стандартизованих чи нормованих вимогах аналогічно до формули (13), тими самими методами оцінюємо загальний коефіцієнт якості, коли одиниця відповідатиме якості стандартизованої продукції, а її перевищення – вищому кількісно вираженому рівневі якості.

#### **Висновки**

1. Якість конкретного виду продукції рекомендується описувати математичною моделлю. Розробка

моделі повинна передбачати варіацію всіх кількісних параметрів, які характеризують якісні сторони продукції за допомогою часткових математичних моделей ЧМЯ, а продукцію загалом за допомогою узагальненої математичної моделі УМЯ, використовуючи класичний підхід до факторного аналізу.

2. На основі факторного аналізу і вимог до продукції рекомендується користуватись номінальною математичною моделлю якості НМЯ як комплексною нормованою характеристикою якості конкретного виду продукції.

3. Ступінь наближеності до НМЯ рекомендується подавати у відносних одиницях як факторний коефіцієнт якості ФКЯ. Тоді більше значення ФКЯ відповідатиме вищому рівню продукції, а якість порівнюватиметься між різними видами продукції.

4. ФКЯ рекомендується використовувати при оцінці якості продукції як самостійний параметр або як складову загальної оцінки якості продукції.

1. ДСТУ 2462-94. Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення. 2. ДСТУ 3410-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Основні положення. 3. ДСТУ 3413-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції. 4. Засименко В.М., Столярчук П.Г., Бичківський Р.В. Концепція сертифікації виробів на етапах її становлення та розвитку // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – №55, – 1999, – С. 141-145. 5. Ситниченко В. Тенденції якості у новому тисячолітті // *Стандартизація. Сертифікація, якість*. – №4, 2000, – С. 48-51. 6. Балагезян Ю. Г., Тульчин Л.Г. Факторный анализ и оценка уровня качества электросчетчиков // *Метрология*. – 1980. – №11. 7. Тульчин Л.Г., Хаскин А.М., Шаповалов В.Д. Оценка качества электроизмерительных приборов – Л., 1982. 8. Засименко В.М. Основы теории планирования эксперимента – Л., 2000. 9. Засименко В.М. Застосування математичних моделей вимірювальних перетворювачів в реальних умовах експлуатації // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – №55. – 1999. – С. 97-101. 10. Засименко В.М., Самченко Г.П. Состояние и тенденции развития переносных пирометров излучения – М., 1987. 11. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование в технике и науке: методы обработки данных – М., 1980.