

УДК 658.5:519.711

Б.О. ДЕМ'ЯНЧУК, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Військової академії (м. Одеса)

В.М. КОСАРЕВ, кандидат технічних наук, професор кафедри
Дніпропетровського університету імені Альфреда Нобеля

МЕТОДИКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗРАЗКІВ ТЕХНІКИ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМ ПОКАЗНИКОМ ЇХНІХ КОРИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Запропоновано універсальну методику техніко-економічного порівняння зразків техніки на основі використання моделі для оцінки їх інтегрального показника якості за сукупністю шістнадцяти основних показників зразків. Методика є інструментом багатофакторного оперативного порівнювання альтернатив пристроїв з метою врахування результатів оцінки основних показників їх якості у процесі створення та застосування мікрохвильових печей.

Ключові слова: експертне узгоджене ранжування параметрів пристроїв, багатофакторна модель порівняння зразків техніки, узагальнений показник якості мікрохвильових печей побутового призначення.

Постановка проблеми. Конкурентні умови сучасного науково-технічного прогресу вимагають порівняння, виробництва або закупівлі і використання будь-яких промислових технічних виробів, тобто зразків різного призначення як традиційних, так і найсучасніших типів. Для цього необхідне визначення і застосування спеціальних числових показників їх якості: під час прийняття відповідних обґрунтованих рішень щодо їх розробки або застосування. При цьому необхідні відповідні методи і ефективні методики для об'єктивного порівняння альтернативних варіантів конкуруючих зразків цих виробів, навіть у випадку, коли окремі суттєві показники їх якості є суперечливими.

Зрозуміло, що завдання порівняння технічних зразків за інтегральним показником, який завжди характеризується множиною окремих показників якості, належить, як правило, до класу погано визначених багатокритеріальних задач, тому що ці показники не піддаються точному обчисленню, залежать від множи-

ни випадкових і невизначених факторів. Саме тому за традицією ці технічні зразки суб'єктивно порівнюють за дуже обмеженою сукупністю важливих окремих показників їх якості.

Методика, що пропонується, реалізується на основі моделі для кількісної оцінки технічних зразків за сукупністю їх суттєвих модифікованих і нормованих показників якості. Вона є інструментом багатофакторного порівняння також різних технічних об'єктів з метою врахування цього порівняння під час узагальнення результатів аналізу сукупності умов для прийняття остаточного рішення щодо вибору найбільш прийнятної більш перспективного варіанта зразку з альтернативних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі численні публікації, методи, моделі та методики, що дають можливість приймати узгоджене рішення під час порівняння деяких об'єктів або зразків за множиною показників їх якості, тобто методи розв'язання багатокритеріальних задач [1; 2; 3].

Недоліком цих відомих аналітичних засобів є занадто велика складність їх практичного застосування або велика суб'єктивність процесу одержання інтегральної оцінки якості кожного зразка із сукупності альтернативних.

Відомо, що під час порівняння складних технічних об'єктів важко оминати проблему визначення деякого інтегрального (узагальненого) показника якості зразка, а отже, неможливо уникнути прийомів зведення багатокритеріальної задачі порівняння зразків до однокритеріальної.

Метою статті є розробка більш простої графоаналітичної методики на основі модифікації та нормування показників-параметрів технічних зразків і моделі монотонного графічного перетворення сукупності великої множини цих суттєвих параметрів, які всебічно характеризують зразок. Це дозволяє одержувати кількісні експрес-оцінки інтегральної якості кожного із альтернативних варіантів зразків для порівняння його з іншим. Ця оцінка необхідна для планування і підготовки рішень з метою підвищення їх ефективності у випадку необхідності вирішення практичних завдань та реалізації необхідних технологічних функцій.

Постановка завдання. Деякий узагальнений показник якісних можливостей кожного технічного зразка можливо характеризувати декількома *групами окремих показників якості*, наприклад: I – показники ефективності; II – показники експлуатаційних властивостей; III – показники екологічності; IV – показники вартості. Порівняння кожного із зразків з будь-яким альтернативним здійснюється з метою прийняття рішення з урахуванням існуючих і перспективних зразків техніки.

Застосування методики показано на прикладі ефективності функціонування відомих мікрохвильових печей побутового призначення та їх перспективної альтернативи нового типу, що є опублікованою раніше в декількох науково-технічних журналах.

Виклад основного матеріалу. Методика містить декілька етапів одержання інтегральної оцінки альтернатив, що

порівнюються, у вигляді переліку дій користувача. Для більшої визначеності доцільно розглянути її за допомогою параметрів і показників якості мікрохвильових печей побутового призначення, тобто виробів різного типу, які щоденно використовують, мабуть, сотня мільйонів споживачів. Цей розгляд сприятиме важливому для практики кількісному порівнянню інтегральної якості існуючих зразків мікрохвильових печей побутового і виробничого призначення з новим зразком, який розроблено автором за останнє десятиріччя. Цей зразок має такі властивості: *принципово рівномірне поле нагріву; практично нульовий рівень випромінювання із камери; коефіцієнт економічної ефективності, незалежний від рівня завантаження мікрохвильової камери; відсутність ефектів перегріву генератора*. [4].

Порівняння зразків печі включає декілька етапів.

Етап 1. Окремі показники якості будь-якого зразка доцільно змістовно об'єднати, наприклад, в чотири групи з чотирьох параметрів.

I – показники ефективності:

1) коефіцієнт енергоекономічності p ;

2) допустиме завантаження камери d ;

3) витрати часу на обробку продукції C ;

4) відносний об'єм робочої камери f .

II. Показники експлуатаційних властивостей:

5) коефіцієнт готовності a ;

6) довговічність T ;

7) ремонтпридатність q ;

8) ергономічність γ ;

III. Показники екологічності:

9) рівень випромінювання з камери Z ;

10) коефіцієнт об'ємної рівномірності нагріву d ;

11) електробезпечність p ;

12) пожежобезпечність ξ .

IV. Показники вартості:

13) собівартість Δ ;

14) ринкова вартість B ;

15) коефіцієнт використання дефіцитних деталей W ;

16) вартість типового технічного обслуговування H .

Ці показники визначають такі реальні кількісні технічні характеристики зразків:

p – коефіцієнт енергоекономічності, що дорівнює відношенню рівня корисної (мікрохвильової) потужності зразка до рівня потужності, що споживається зразком; для існуючих зразків цей коефіцієнт дорівнює 0,5, для камер нового типу (через сталий режим «бігучої» хвилі під час роботи генератора) він дорівнює 0,8;

d – допустиме завантаження камери (за рівнем зменшення енергетичної економічності) відносним (від норми) мінімальним завантаженням камери, що дорівнює у зразках традиційного типу 0,3, а в камерах нового, нерезонансного, типу – 0,1;

C – витрати часу на обробку продукції; вони характеризують деяку кількість часу на обробку типової продукції; так, у типовій камері 1 л води закипає (в умовах «стоячої» хвилі в об'ємі води) за 10 хв, а в новій камері – за 8 хв;

f – відносний об'єм робочої камери; він нормується повним об'ємом мікрохвильової печі; він є практично однаковим і дорівнює звичайно 0,9;

a – коефіцієнт готовності, що дорівнює середньому часу безвідмовної роботи, нормованому сумою середнього часу безвідмовної роботи і середнього часу відновлення зразка у випадку відмови; у традиційному зразку (через перегрів генератора) коефіцієнт готовності дорівнює 0,85, а в новому – 0,99;

T – довговічність; її доцільно приймати за 1 для печі нового типу (у зв'язку з відсутністю випадкових перегрівів генератора), а для традиційної камери (через більш часті випадкові перегрів генератора, який функціонує в режимі «стоячої» хвилі у хвилеводі) – на рівні 0,7.

q – ремонтпридатність для зразка нового типу визначимо як 1 (у зв'язку з відсутністю в його конструкції електромеханічних вузлів для стола обертання в камері), а для традиційного зразка він дорівнює (за досвідом) 0,7;

γ – параметр ергономічності зразка (за даними дослідних експертів) у нового, тобто вітчизняного, зразка він є більш

низьким порівняно із закордонними, тому він дорівнює 0,9, а в традиційних – 1 (у зв'язку з більш високим рівнем автоматизації зразків і більш зручним дизайном);

Z – рівень випромінювання з камери, що є густиною потоку випромінювання; згідно з результатами експериментальних вимірювань маємо: для зразків традиційної конструкції у середньому – 15 мкВт/см²; для камери нового типу – 0,9 мкВт/см² (завдяки концентрації енергії поля в об'ємі продукту, що обробляється, відсутності відбитих хвиль від стінок камери та завдяки відсутності поверхневих струмів по вікну камери);

d – коефіцієнт об'ємної рівномірності нагріву дорівнює відношенню мінімуму поля в камері до його максимуму; для нової камери (де відсутня «стояча» хвиля) він дорівнює 1, для відомих камер цей коефіцієнт дорівнює у середньому 0,15;

ρ – електробезпечність; в альтернативних зразках залишається однаковою і дорівнює $\geq 0,8$;

ξ – пожежобезпечність є, мабуть, дещо вищою у нового зразка (через відсутність електричних пробіїв у хвилеводі живлення камери і меншу ймовірність пробіїв у його камері при випадковому потраплянні в неї металевих предметів), тому візьмемо, відповідно: 1,0 і 0,9;

Δ – собівартість виробництва; вона є більш низькою для нового зразка (через відсутність вузлів обертання та піднімання і опускання столу нагріву продукту), тому маємо, відповідно: 0,8 і 1,0;

B – ринкова вартість зразка; вона є більш високою для нового зразка (через нові корисні для споживача властивості), тому також маємо, відповідно: 1,0 і 0,8;

W – коефіцієнт використання дефіцитних деталей; він є більш високим для нового зразка (через наявність вузла покриття-перетворювача енергії поля в теплову і через наявність теплообмінника під продуктом, який обробляється), тому маємо, відповідно: 1,0, і 0,8;

H – середня вартість типового технічного обслуговування; вона є практично сумірною для нового зразка (через відсутність вузлів обертання та піднімання і

опускання продукту в камеру, та через наявність вузла-перетворювача) і традиційного зразків, тому маємо, відповідно: 0,95 і 1,0.

Етап 2. Доцільно модифікувати показники у випадку, якщо частина цієї сукупності показників характеризує так звану «негативну» якість. Для зручності розв'язання задачі порівняння будь-якого традиційного і альтернативного зразків доцільно звести усі показники до одного «знака якості» шляхом подальшого використання величин так званих «позитивних» показників, що стають оберненими величинам негативних показників цієї сукупності. Зрозуміло, що показники, які виявляються таким чином модифікованими, мають отримати інші назви, згідно з відповідною суттю нового фізичного позначення цих показників.

В аналізованому випадку маємо деякі показники, що відповідають вимогам: чим більше значення показника, тим краще, а саме:

- 1) p ; $-$; $-$; f
- 2) a ; T ; q ; γ .
- 3) $-$; d ; ρ ; ξ .
- 4) $-$; $-$; $-$; $-$.

Маємо також показники, що відповідають вимогам: чим менше значення показника, тим краще, а саме:

- 1) $-$; D ; C ; $-$
- 2) $-$; $-$; $-$; $-$.
- 3) Z ; $-$; $-$; $-$.
- 4) Δ ; B ; W ; H .

Саме тому після модифікації реальних показників порівнюваних зразків маємо сукупність модифікованих показників у вигляді:

- 1) p ; δ ; c ; f
- 2) a ; T ; q ; γ .
- 3) z ; d ; ρ ; ξ .
- 4) δ ; β ; w ; h ,

де позначені (іншим чином) параметри:

δ – коефіцієнт завантаження;

c – коефіцієнт працездатності;

ξ – показник мікрохвильової безпечності;

δ – коефіцієнт економічності виробництва;

β – ринкова економічність зразка;

w – коефіцієнт доступності деталей;

h – економічність експлуатації зразка.

Модифіковані показники порівнюють:

$$\delta = D^{-1}; c = C^{-1}; z = Z^{-1}; \\ \delta = \Delta^{-1}; \beta = B^{-1}; w = W^{-1}; h = H^{-1}.$$

Етап 3. Необхідно сформувати еталонну сукупність показників якості, тобто сукупність деякого еталонного зразка. Вона складається з показників найбільш високого рівня в сукупності величин показників зразків, що порівнюються. Нехай еталонна сукупність цього еталонного зразка має вигляд:

- 1) p_e ; δ_e ; c_e ; f_e ;
- 2) a_e ; T_e ; q_e ; γ_e ;
- 3) ζ_e ; d_e ; ρ_e ; ξ_e ;
- 4) δ_e ; β_e ; w_e ; h_e ,

де маємо, згідно з етапами 2, 3, величини:

- 1) $p_e = 0,8$; $\delta_e = 10$; $c_e = 0,125$; $f_e = 0,9$;
- 2) $a_e = 0,99$; $T_e = 1,0$; $q_e = 1,0$; $\gamma_e = 1,0$;
- 3) $\zeta_e = 1,1$; $d_e = 1,0$; $\rho_e = 0,9$; $\xi_e = 1,0$;
- 4) $\delta_e = 1,25$; $\beta_e = 1,25$; $w_e = 1,25$;

$h_e = 1,05$.

Етап 4. Далі необхідно здійснити нормування всіх показників якості зразків величиною, яка дорівнює модулю радіуса-вектора (A_i) кількісного значення конкретного показника-параметра i -го зразка і відповідного конкретного показника-параметра еталонного зразка. Цей модуль дорівнює

$$A_i = \sqrt{p_1^2 + p_B^2}, \quad (1)$$

де p_1 – показник якості першого зразка, якість якого потрібно оцінити;

p_e – аналогічний показник якості еталонного зразка.

Це спрощує процес нормування параметрів. Результати модифікування і нормування 1-го, ..., 16-го показників якості кожного i -го зразка ($i = 1, \dots, k$) подають у вигляді:

$$X_1^{(i)} = \frac{p(i)}{\sqrt{[p(i)]^2 + [p_B]^2}}; \dots; X_{16}^{(i)} = \frac{h(i)}{\sqrt{[h(i)]^2 + [h_B]^2}}. \quad (2)$$

Етап 5. Потрібно ранжувати параметри (2). Ці параметри, $X_1^{(i)} \dots X_{16}^{(i)} (i = 1, \dots, k)$, доцільно узгоджено ранжувати за важливістю шляхом експертного опитування.

Метод узгодженого ранжування, коли враховуються переваги кожного експерта, доцільно пояснити на конкретному прикладі.

Нехай необхідно ранжувати, тобто розставити за рівнем зменшення їх важливості таку послідовність з чотирьох показників якості (параметрів), наприклад, X_1, X_2, X_3, X_4 .

За умов, що три досвідчених експерта розставили ці параметри за рівнем зменшення їх важливості, так що матриця **Н**-результатів початкового ранжування може бути подана таким чином, що кожний її рядок відповідає переважним вимогам одного з експертів, а кожний стовець матриці відповідає номеру місця, яке відображає ступінь його важливості у міру її зменшення. При цьому матриця **Н**⁽⁺⁾ номерів місць позитивних переваг експертів містить за стовпцями лише відповідні номери місць, які експерти віддали відповідним параметрам. Матрицю **Н**⁽⁻⁾ негативних переважних поглядів експертів будують таким чином, що великі величини номерів розташовуються на місцях елементів матриці, які є менш важливими (за поглядом експертів) параметрами, а саме:

$$H^{(+)} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 4 \end{bmatrix}; H^{(-)} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 2 \\ 3 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Після підсумовування елементів стовпців матриці **Н**⁽⁺⁾, а також елементів стовпців матриці **Н**⁽⁻⁾ побудуємо вектори позитивних **Р**⁽⁺⁾ і негативних **Р**⁽⁻⁾ переваг експертів у вигляді:

$$P^{(+)} = (9 \ 4 \ 6 \ 11); P^{(-)} = (6 \ 11 \ 9 \ 4). \quad (4)$$

Далі одержимо різницю векторів (4), тобто вектор ΔP різницевих переваг експертів. Його елементи дозволяють розставити елементи послідовності параметрів, що ранжуються, з урахуванням абсолютних величин і знаку елементів вектора різ-

ницевих переваг. Це дозволяє розв'язати задачу узгодженого ранжування параметрів за рівнем зменшування їх важливості.

$$\Delta P = P^{(+)} - P^{(-)} = (+3 \ -7 \ -3 \ +7). \quad (5)$$

Найбільша величина позитивного четвертого елемента вектора (5) означає, що параметр з номером 4 необхідно розташувати за рівнем його важливості на останньому місці.

Після повторення операцій (3, 4, 5), але вже з трьома параметрами, на передостанньому місці за важливістю після узгодження переваг експертів виявляється третій параметр. Далі на друге місце за важливістю необхідно поставити перший параметр, тому що найменше число значення має другий елемент вектора різницевих переваг.

Таким є узгоджений погляд експертів. Узгодження декількох поглядів, особливо у випадку їх великої кількості, природно, дозволяє отримати більш зважений результат. Його корисність прямо пропорційна не тільки рівню кваліфікації експертів, але також їх кількості в процесі розв'язання задачі об'єктивного ранжування множини параметрів.

Припустимо, що після обробки усіх результатів і розставляння в кожній групі показників якості зразків за важливістю, а також після розставляння самих груп показників якості зразків за їх важливістю, ми одержали послідовність ранжированих показників i -го та еталонного зразків, наприклад, у вигляді:

$$X^{(e)} = \{X_1^{(e)}, X_2^{(e)}, \dots, X_{15}^{(e)}, X_{16}^{(e)}\}.$$

Узгоджена важливість конкретної групи показників є також тим вищою, чим менше її номер.

Етап 6. Необхідно нанести величини параметрів на сторони відповідних квадратів. Кожній групі з чотирьох параметрів доцільно поставити у відповідність квадрат (рис. 1), на сторони якого нанесено шкали ранжированих параметрів від мінімального значення (нуля) до максимального (одиниці). На горизонтальні сторони квадрата необхідно нанести шка-

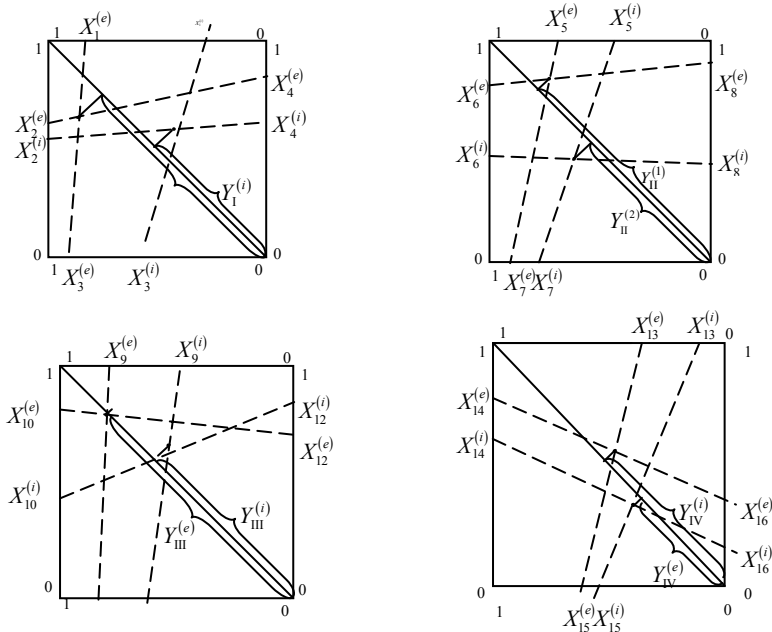


Рис. 1. Графіки порівняння зразків за параметрами кожної з чотирьох груп, що визначають окремі, групові, суттєві показники якості зразків

ли справа наліво, на вертикальних – знизу вгору.

На кожній шкалі (стороні квадрата) необхідно відкладати значення відповідного показника i -го ($i = 1, \dots, k$) та еталонного (індекс «е») зразка. При цьому значення найбільш важливих показників із групи відкладати на лівій та верхній сторонах.

Етап 7. Попарно об'єднати параметри і одержати комплексні оцінки групи з чотирьох параметрів. Значення показників, що взяті на протилежних сторонах квадрата, з'єднати прямими лініями. Із точки перетину ліній необхідно опускати перпендикуляр на діагональ квадрата, що проведена з його правого нижнього кута у лівий верхній. Діагональ розбивається на сто рівних відрізків. Точка перетину перпендикуляра з діагоналлю дає комплексну оцінку l -ої групи ($l = I, II, III, IV$) показників зразка $Y^{(i)}$ та l -ої групи показників еталонного зразка $Y^{(e)}$. Такий підхід дозволяє одержати значення комплексної оцінки кожної із чотирьох груп параметрів у відсотках. При цьому відрахування числових значень здійснюється на діагоналі квадрата від правого нижнього кута,

який приймається за початок відрахування, до перетину перпендикуляра з діагоналлю квадрата (рис. 1).

Етап 8. Нарешті, необхідно побудувати графік для обчислення інтегрального показника якості зразка. Це необхідно здійснити для урахування величин комплексних показників кожної з чотирьох груп з метою одержання числового значення інтегрального показника якості кожного із зразків, які порівнюються за суттєвими показниками (рис. 2). Кращим є той зразок, для якого інтегральний показник $E_i (i = 1, \dots, k)$ є більш високим, тобто той, що має більш високий рівень узагальненої якості.

Практичне застосування результатів графічного обчислення інтегральних показників якості зразків забезпечує, таким чином, отримання можливості об'єктивного ранжування зразків.

Застосування цієї методики, тобто її етапів, що пояснені на прикладі конкретних даних щодо ефективності функціонування відомих мікрохвильових печей побутового призначення і нового зразка з метою їх порівняння за сукупністю суттєвих показників якості, показало такі відносні оцінки переваг нового зразка:

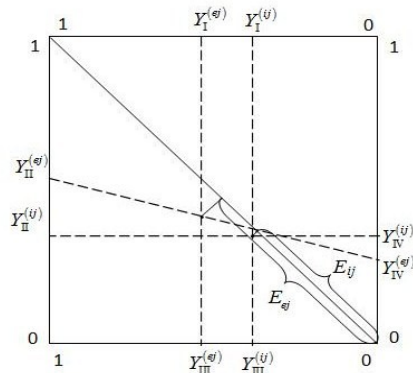


Рис. 2. Графік для обчислення інтегральних показників якості зразків, які порівнюються за важливими властивостями за допомогою 16 суттєвих часткових параметрів кожного зразка

- збільшення показників ефективності – 38%;
- покращання показників експлуатації – 16%;
- збільшення показників екологічності – 69%;
- зростання показників економічності – 14%.
- зростання інтегрального показника якості нового зразка мікрохвильової печі дорівнює 30%.

Висновки. Методика, що базована на використанні багатofакторної графо-

аналітичної моделі порівняння зразків, забезпечує однозначне розв'язання задачі з множиною критеріїв і сприяє отриманню об'єктивної оцінки інтегральної характеристики зразків мікрохвильової техніки, а також інших зразків аналогічного призначення.

Спосіб ранжування зразків за їх якістю за допомогою комп'ютера дозволяє здійснювати розв'язання цієї задачі неодноразово у міру зміни окремих параметрів кожного із зразків.

Список використаних джерел

1. Озерной В.М. Принципы построения и использования многокритериальных моделей задач принятия решений / В.М. Озерной // Сборник трудов Института проблем управления. – 1974. – Вып. 5. – С. 3–15.
2. Озерной В.М. Методология решения многокритериальных задач / В.М. Озерной, М.Г. Гафт // Многокритериальные задачи принятия решений: сборник. – М., 1978. – С. 14–17.
3. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях / М.Г. Гафт // Математика, кибернетика. – М., 1979. – № 7. – 67 с.
4. Демьянчук Б.А. Микроволновый нагрев. Новая технология. Теория и практика / Б.А. Демьянчук // Saarbrücken: LAMBERTAkademicPublishing, 2011. – 160 с.
5. Пат. 85756 України, МПК Н 05 В 6/64. Мікрохвильова піч: Дем'янчук Б.О. – а2007 04390; Заявл. 20.04.07; Опубл. 27.10.08, Бюл. № 20. – 5 с.

References

1. Ozernoj V.M. (1974) *Principy postroenija i ispol'zovanija mnogokriterial'nyh modelej zadac hprinjatija reshenij* / [Sbornik trudov Instituta problem upravlenija]. no. 5. pp. 3-15.
2. Ozernoj V.M., Gaft M.G. (1978) *Metodologija reshenija mnogokriterial'nyh zadach* [Mnogokriterial'nye zadachi prinjatija reshenij: sbornik]. – Moscow pp. 14-17.

3. Gaft M.G. (1979) *Prinjatje reshenij pri mnogihk riterijah* / [Matematika, kibernetika]. – М., – no. 7. – 67 p.
4. Dem'janchuk B.A. (2011) *Mikrovolnovyj nagrev. Novaja tehnologija. Teorija i praktika* / Saarbrucken: LAMBERT Akademik Publishing, 160 p.
5. Dem'janchuk, B.A. (2007) *Mikrohvil'ova pich* [...] Patent Ukrainy, no. 85756 MPK N 05 V 6/64.: – a2007 04390; Zajavl. 20.04.07; Opubl. 27.10.08, Bjul. no 20. – 5 p.

Предложена универсальная методика технико-экономического сравнения образцов техники на основе использования модели для оценки их интегрального показателя качества по совокупности шестнадцати основных показателей образцов. Методика является инструментом многофакторного оперативного сравнения альтернатив устройств с целью учета результатов оценки основных показателей их качества в процессе создания и применения микроволновых печей.

Ключевые слова: *обобщенный показатель качества образцов техники, методика экспертного согласованного ранжирования технических параметров, многофакторная модель сравнения образцов техники.*

The author proposes a method of comparing models of home-use microwave ovens based on the pattern of their integral performance index assessment according to the sum total of their sixteen main parameters. The method is an instrument of multifactorial efficient comparing of alternative models for the purpose of taking the results into account in the process of production and use of microwave ovens.

Key words: *summarized performance index, method of expert coherent ranging of technical parameters, multifactorial pattern of comparison for.*

Одержано 23.01.2015.