

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ ВИРОБІВ МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПРОСТОРІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Анотація.** Серед основних проблем оцінки якісного стану виробів можна відзначити труднощі комплексної оцінки при застосуванні параметрів, які істотно різняться за своєю фізико-механічною або хіміко-біологічною природою. Зокрема, існуючі математичні моделі якості харчової продукції обмежуються лише аналізом органолептичних характеристик, що реалізовується створенням та колегіальним рішенням спеціальної експертної комісії. Така структура оцінки викликає певні труднощі організаційного характеру та має явно виражений суб'єктивний характер, практично не опирається на цифрову інформацію, що є у наявності на основі результатів експериментальних досліджень. Тому метою наукової роботи стало розробка та апробація математичних моделей якісного стану, що можуть мати лінійну, плоску та просторову візуалізацію. Розроблені математичні моделі відзначаються простотою складання та високою наочністю, можливістю обробки достатньо великого обсягу інформації, застосування необмеженої кількості параметрів для порівняльної оцінки. Використані критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різноплановими самостійними параметрами, так і за розгалуженими сімействами споріднених характеристик. Представлені методи математичного аналізу нівелюють її суб'єктивний характер, що у цілому дозволяє значно поліпшити адекватність оцінки стану продукції.

**Ключові слова:** моделі якості; лінійна, плоска та просторова візуалізація; якісні та нормативні параметри; безрозмірні комплекси.

### Вступ

Існуючі математичні моделі якості продукції, зокрема для виробів харчових виробництв, базуються на використанні оцінки за органолептичними характеристиками, що дає можливість проводити виключно суб'єктивну оцінку якості зразків за колегіальною характеристикою експертною комісією. При розробці та обґрунтуванні математичної моделі якості виробів виявилось достатньо зручним вибрати за базовий напрямок напрямки осі декартової системи координат, що дозволяє вести геометричну візуалізацію у лінійному, плоскому та просторовому діапазоні [1, 2]. У геометричному плані такі моделі наочно були представлені у вигляді найбільш простих геометричних фігур від променя до багатогранника. Для чисельної оцінки при застосуванні різних оціночних характеристик застосовували безрозмірні комплекси у вигляді відносних величин, що дозволило об'єктивно зробити якісний порівняльний аналіз досліджуваних зразків виробів за розрахованими критеріями оцінки [3]. Останні можна обирати на основі нормативних характеристик згідно ДСТУ або технічних умов; при використанні загально відомих рекомендацій, що були обґрунтовані на базі численних експериментальних або теоретичних досліджень.

Тому безсумнівно *актуальним* є розробка та використання нових ефективних методів оцінки якісного стану сировини, напівфабрикатів та готових виробів, що забезпечують умови ефективної експлуатації, безпечного харчування, екологічності, планування здорового образу життя.

*Метою роботи* є розробка системи ефективної оцінки якісного стану харчових та промислових виробів шляхом використання результатів експериментального аналізу, математичного моделювання при застосуванні розробленого методу «факторних просторів».

### Результати дослідження

При виконанні представленого методу моделювання попередньо необхідно здійснити сортування оціночних характеристик залежно від того, як вони впливають на якісний стан виробів, тобто при зростанні їх величини відбувається підвищення чи зниження якості. Отже у якості *першої гіпотези* прийняли те, що негативні та позитивні параметри створюють відповідні якісні простори, сума яких свідчить про стан виробів або продукції.

Для реалізації такої оцінки якісні характеристики виробів переводили до безрозмірного вигляду при використанні відношення дійсних та нормативних параметрів. Очевидно, що при цьому величина будь-

якого нормативного показника дорівнює одну умовну одиницю, а поточні характеристики виробів становлять частки до одиниці. Можливість реалізації такої оцінки визначає *друга гіпотеза*, згідно із якою якісний стан виробів визначається кількісно за величинами співвідношень між безрозмірними характеристиками нормативних та поточних параметрів.

Для переведення параметрів для порівняльної оцінки у безрозмірні комплекси, використовували відношення між величинами характеристик продукції  $R_i$  та їх нормативними значеннями  $R_n$ . Для плоскої моделі при відкладенні даних величин із певного центру по діагоналях через певний кут очевидно, що на площині отримана через кінці відкладених променів геометрична фігура відображається у вигляді правильного багатокутника для нормативних параметрів, а для поточних оціночних характеристик – у вигляді неправильного [2, 3].

Кількість кутів або сторін багатокутників визначається кількістю параметрів  $m$ , що беруться для оцінювання певного зразка виробів. Величина такого кута дорівнює  $360/m$ . При розрахунку площ неправильних багатокутників використали метод розбивання фігури на трикутники (рис.1), використовуючи складену програму обчислень. Аналіз даних обчислень дозволив отримати математичний алгоритм для розрахунку факторних площ для будь-якої кількості параметрів оцінки.

Склали розрахункову графічну модель на прикладі оцінювання характеристик акацієвого сорту меду з використанням 5 негативних параметрів якості (рис. 1) [2].

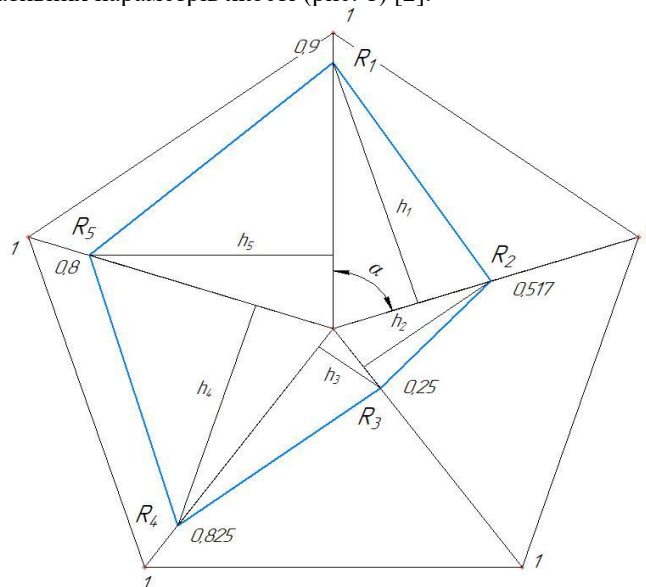


Рис. 1. Розрахункова графічна модель 5-факторного простору негативних параметрів для оцінювання якості акацієвого сорту меду:  $R = 1$  величина нормованих параметрів (в ум.од);  $R_1 = 0,9$  – коефіцієнт показника масової частки води;  $R_2 = 2,86$  – коефіцієнт показника масової частки сахарози;  $R_3 = 0,25$  – коефіцієнт показника кислотності;  $R_4 = 0,825$  – коефіцієнт показника ГМФ;  $R_5 = 0,8$  – коефіцієнт показника pH;  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$  – висоти трикутників, на які розбивається п'ятикутник для розрахунку площі факторного простору параметрів якості зазначеного сорту меду;  $\alpha$  – кут, який утворюється внаслідок проведення прямих, що будували із центру до вершин правильного 5-кутника; синім кольором відображено 5-кутник, що відображає факторний простір за оцінюваними параметрами якості зазначеного сорту меду, а чорним – нормативний факторний простір.

Так, із рис. 1 площа  $S_1$  першого трикутника складає  $S_1 = 0,5h_1 \cdot OB = 0,5 \cdot OA \cdot \sin \alpha \cdot OB = 0,5 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot \sin \alpha$ . Аналогічно отримали, що площі  $S_2 = 0,5 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \sin \alpha$ ;  $S_3 = 0,5 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot \sin \alpha$ ;  $S_4 = 0,5 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot \sin \alpha$ ;  $S_5 = 0,5 \cdot R_5 \cdot R_1 \cdot \sin \alpha$ . Тоді загальна шукана площа 5-кутника становить:

$$S_{05} = 0,5 \sin \alpha \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_1] \quad (1)$$

Площа правильного багатокутника  $S_{np} = S_n$  на відображеній на рис.1 графічній моделі становить:

$$S_{np} = \frac{mR^2 \sin^2(\frac{180}{m})}{\operatorname{tg}(\frac{180}{m})} = mR^2 \sin(\frac{180}{m}) \cdot \cos(\frac{180}{m}) = 0,5mR^2 \sin(\frac{360}{m}) \quad (2)$$

Враховуючи, що показаний на рис. 1 кут  $\alpha = 360/m$ , то формулу (2) остаточно представили у вигляді:

$$S_{np} = S_n = 0,5mR^2 \sin \alpha \quad (3)$$

Таким чином, простір оцінювання як нормованих  $S_n$ , так і оцінюваних показників  $S_i$  для  $i$ -того параметра можна визначити, використовуючи подані та знайдені геометричні характеристики та їх величини, які були отримані у результаті експериментальних досліджень.

### Висновки

1. Аналіз існуючих моделей якісного стану виробів виявив, що результати оцінки мають незначну та обмежену за кількістю незалежних оціночних параметрів; або явно виражений суб'єктивний характер у ході оцінки якості, зокрема, харчової продукції, не використовують цифрової інформації та в якості критеріїв оцінки мають лише органолептичні характеристики.
2. Розроблена система математичного моделювання якісного стану виробів базується на чисельних параметрах оцінки, які є необмеженими за кількістю, що дозволяє здійснити ефективну об'єктивну оцінку якісного стану досліджуваних зразків продукції; побудова моделей відзначається простотою складання та будь-якою точністю оцінки, хоча адекватність оцінки залежить від правильного вибору оціночних параметрів.
3. При використанні розробленої системи оцінки математичних моделей критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різномановитими параметрами, так і за розгалуженими сімействами споріднених характеристик. Візуалізація моделей якості наочно можна представляти в одно-, двох- та тривимірному факторному просторі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н.С. Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кірючев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. С. 177-187. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3
2. Palamarchuk, Igor P., Adamchuk, Leonora, Palamarchuk, Vladyslav I., ... T., Hutsol, Taras, O., Bezaltynna, Olena. Assessment of the Ecological Safety of Honey with the Help of "Factor Area" Models. Sustainability (Switzerland), 2024. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>
3. Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Piddubny, V., Tkachenko H.,... Modeling of the qualitative state of oilseeds from soybean seeds by multifactorial analysis of factor areas. Scifood, vol.19, 2025. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

**Паламарчук Ігор Павлович** — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com).

#### *Development of a system for assessing the quality of products by mathematical modeling using the method of factor spaces*

**Abstract.** Among the main problems of assessing the quality of products, one can note the difficulties of comprehensive assessment when using parameters that differ significantly in their physical-mechanical or chemical-biological nature. In particular, existing mathematical models of food product quality are limited only to the analysis of organoleptic characteristics, which is implemented by the creation and collective decision of a special expert commission. Such an assessment structure causes certain organizational difficulties and has a clearly expressed subjective nature, practically does not rely on digital information that is available on the basis of the results of experimental research. Therefore, the purpose of the scientific work was to develop and test mathematical models of the quality state, which can have linear, flat and spatial visualization. The developed mathematical models are characterized by ease of compilation and high clarity, the ability to process a sufficiently large amount of information, and the use of an unlimited number of parameters for comparative assessment. The used evaluation criteria are represented by dimensionless complexes that allow objectively evaluating the factor space both by diverse independent parameters and by branched families of related characteristics. The presented methods of mathematical analysis eliminate its subjective nature, which in general allows significantly improving the adequacy of the assessment of the state of the product.

**Key words:** quality models; linear, planar and spatial visualization; qualitative and normative parameters; dimensionless complexes.

**Igor Palamarchuk P.** — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com)