

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 004.94:641.8:641.528

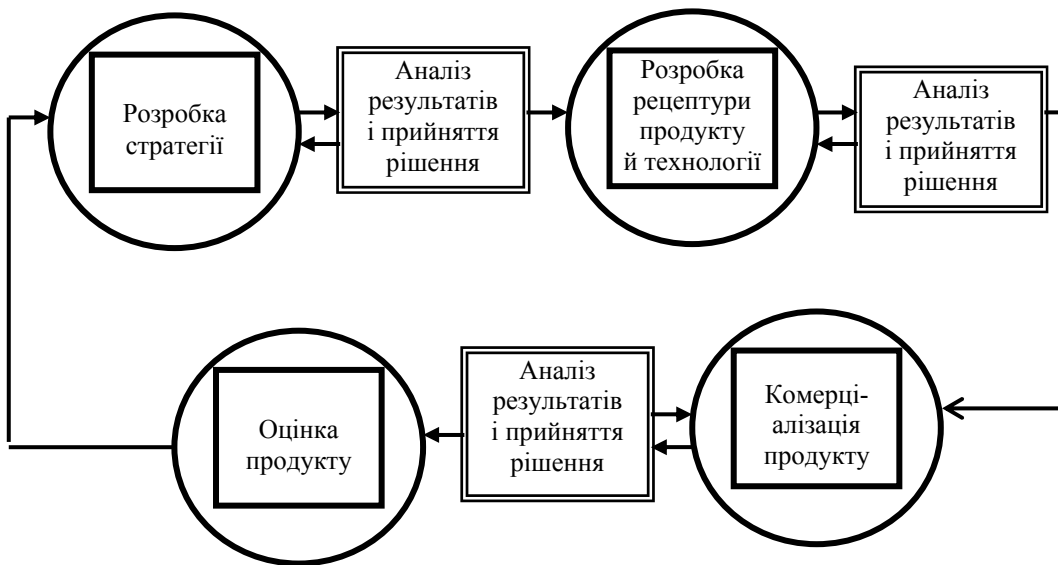
**Світлана БЕЛІНСЬКА,
Наталія ОРЛОВА,
Віктор КРАСНОЩОК**

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУР БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ОВОЧЕВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

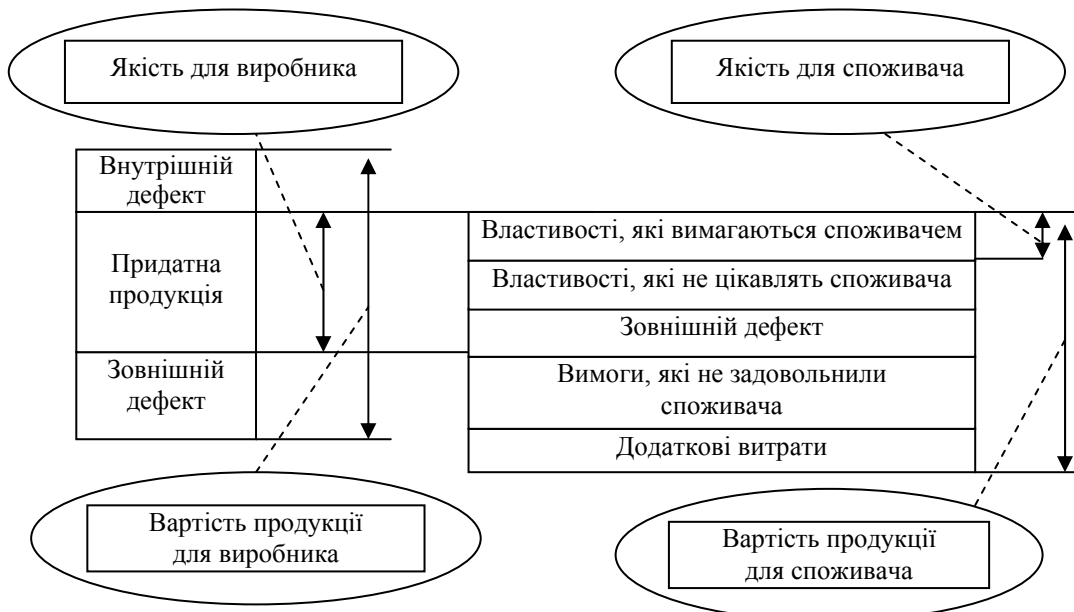
Проблема удосконалення якості харчових продуктів завжди залишається актуальною, оскільки саме вона є найвагомим чинником формування конкурентоспроможності підприємства. В умовах насичення ринку харчовими продуктами та зростання конкурентної боротьби виробник матиме успіх лише тоді, коли розроблений ним продукт, який відповідає постійно зростаючим вимогам споживачів щодо безпечності, якості та асортименту, якнайшвидше буде виведений на ринок.

Процедура розроблення нового продукту є достатньо складною та тривалою. Її необхідно розглядати як цілісну систему з усіма зв'язками та залежностями (*рис. 1*), і починається вона із визначення стратегії – встановлення доцільності виведення нового товару на ринок, визначення категорії споживачів продукту та детального опису його концепції. При цьому узагальнюють інформацію про споживні властивості нового продукту, особливості технології та результати маркетингових досліджень продуктів-аналогів. Розбіжності щодо поняття якості та вартості товару з погляду виробника та споживача, які наведено на *рис. 2*, мають бути нівельованими ¹.

¹ *Якість і системи якості // Світ якості України. – № 3. – 2004. – С. 76-78.*

Рис. 1. Процедура розроблення харчового продукту²

З погляду споживача, якість харчового продукту повинна мати такі властивості, які б впливали на бажаність купівлі. Для виробника – це продукція без дефектів, що могли б перешкоджати її продажу. Різне розуміння якості товару споживачем та виробником зумовили розвиток методу розгортання або структуривання функцій якості, який в останні роки застосовується у галузях харчової промисловості. Це технологія проектування виробів, що дає змогу системно виявити потреби споживачів до потенційного продукту та перевести їх у конкретні технічні вимоги. Отже, результат розроблення стратегії продукту – це чітке визначення вимог і його переваг порівняно з аналогами.



² Эрл М., Эрл Р., Андерсон А. Разработка пищевых продуктов: Пер с англ. В. Ашкинази, Т. Фурманской. – СПб: Профессия, 2004. – 384 с.

Рис. 2. Якість продукції з погляду виробника й споживача

Ключовим етапом створення нового продукту є *розроблення його рецептури й технології*. Для цього необхідно враховувати фізичні, хімічні, мікробіологічні процеси, які можуть відбуватися як в окремих компонентах, так і в готовому продукті під час товароруку. Для плодовоовочевих швидкозаморожених багатокомпонентних напівфабрикатів треба зважати на:

- відмінність морфологічних ознак і хімічного складу сировини;
- сезонність вирощування та терміни досягання плодів і овочів;
- сумісність інгредієнтів;
- залежність технологічних операцій від особливостей сировини;
- швидкість протікання біохімічних процесів.

Наступний етап – *комерціалізація продукту* – визначення необхідного обсягу виробництва, організації каналів збуту з гарантованим збереженням якості.

Етап *оцінювання продукту* базується на визначенні частки ринку, завойованого продуктом за певний період часу.

Кожен із етапів створення продукту потребує аналізу результатів і прийняття відповідного рішення: повернення до попереднього етапу чи перехід до наступного. Розроблення оптимальної рецептури швидкозаморожених овочевих напівфабрикатів – складний, тривалий процес, який включає велику кількість дослідів. Є два підходи до вирішення проблеми: *експеримент* – передбачає прийняття рішення на основі узагальнення результатів; *створення математичної моделі* – опис об'єкта математичними залежностями між окремими факторами (показниками) з урахуванням їхньої взаємодії. Застосування математичного моделювання при розробленні рецептури харчових продуктів уможливорює зменшення кількості експериментів, мінімізує витрати сировинних ресурсів і матеріалів, прискорює прийняття рішення³.

Математичне моделювання застосовується при оптимізації рецептур багатокомпонентних продуктів – сухих сніданків, молочних продуктів, м'ясопродуктів, – раціонів із заданою харчовою цінністю тощо⁴.

Оптимізація – процес, у результаті якого виявляється комплекс параметрів, що приводять до екстремуму (максимізації або мінімізації цілі). Математичний підхід до проблеми оптимізації полягає у вирі-

³ Алексеев Е.Л., Пахомов В.Ф. Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.

⁴ Миронова Н.Г., Ковбаса В.Н. Разработка оптимальных рецептур сухих завтраков повышенной биологической ценности с использованием математического моделирования // Хранение и переработка сельхозсырья. – № 1. – 1998. – С. 51-52; Лисин П.А. Компьютерное моделирование поликомпонентных молочных продуктов // Пищевая пром-сть. – № 11. – 2006. – С. 60-61; Лунатов Н.Н. Предпосылки компьютерного проектирования продуктов питания с задаваемой пищевой ценностью // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – № 3. – С. 4-9.

шенні двох задач: побудові моделі процесу й знаходженні екстремуму заданого критерію.

Побудова моделі – знаходження функції апроксимації, яка адекватно описує процес та його залежність від вхідних параметрів (незалежних змінних). Завданням оптимізації є знаходження таких їхніх значень, що дають оптимальне значення залежної величини. У зв'язку з цим існує два типи задач: 1 – функціональні залежності невідомі; 2 – функціональна залежність може бути сформульована математично. У першому випадку використовують пошукові процедури, у другому – оптимізація проводиться методами: Гауса-Зейделя; градієнта; крутого сходження; кроковим; симплексним; визначенням екстремуму; лінійного, нелінійного, динамічного програмування; принципу максимуму тощо⁵.

При лінійній залежності між вхідними та вихідними параметрами системи для оптимізації рецептур і технологічних процесів використовується симплекс-метод – розв'язання задач лінійного програмування для виявлення екстремуму функції відгуку. Прийняття оптимальних рішень при цьому базується на об'єднанні трьох складових: вихідних даних, математичній моделі (включає цільову функцію, обмеження й граничні умови) та розв'язанні задачі⁶.

Для оптимізації рецептури за інтегральним показником якості використовують кваліметричну мультиплікативну модель і переводять значення показників з різними одиницями вимірювання у безрозмірні. Критерієм оптимізації при цьому є узагальнений показник якості з урахуванням вагомості кожного із одиничних показників.

Перевагами оптимізації рецептури шляхом застосування функції бажаності Харрінгтона є можливість поєднання факторів різної розмірності й діапазону. При цьому значення об'єкта моделювання переводиться у безрозмірну величину, яка порівнюється з еталоном⁷.

Особливістю застосування методу диференціювання є вирішення системи рівнянь та визначення максимальних або мінімальних значень. Його можна застосовувати, коли граничні умови й цільова функція лінійні за параметрами, а при нелінійному характері – за умови зведення до лінійних⁸.

⁵ *Методы исследования и организация экспериментов* / Под ред. проф. К.П. Власова – Х.: "Гуманитарный Центр", 2002. – 256 с.

⁶ *Тележенко Л.Н.* Научные основы сохранения биологически активных веществ в технологиях переработки фруктов и овощей. Дис. ... д. т. н.: 05.18.13. – Одесса, 2004. – 415 с.

⁷ *Харрингтон Д.* Управление качеством в американских корпорациях: Пер. с англ. – М.: Экономика, 1990. – 324 с.

⁸ *Валентас К. Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П.* Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / Под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского: Пер. с англ. – СПб: Профессия, 2004. – 848 с.

Сучасні комп'ютерні технології сприяють спрощенню математичного аспекту моделювання, тобто ув'язуються три об'єкти: продукт (реальний, проєктований), математична модель і програма, яка реалізує алгоритм розв'язання рівнянь моделі. Схему комп'ютерного моделювання як процесу побудови й дослідження, запропоновану С.І. Дворецьким зі співавторами, наведено на *рис. 3*⁹.

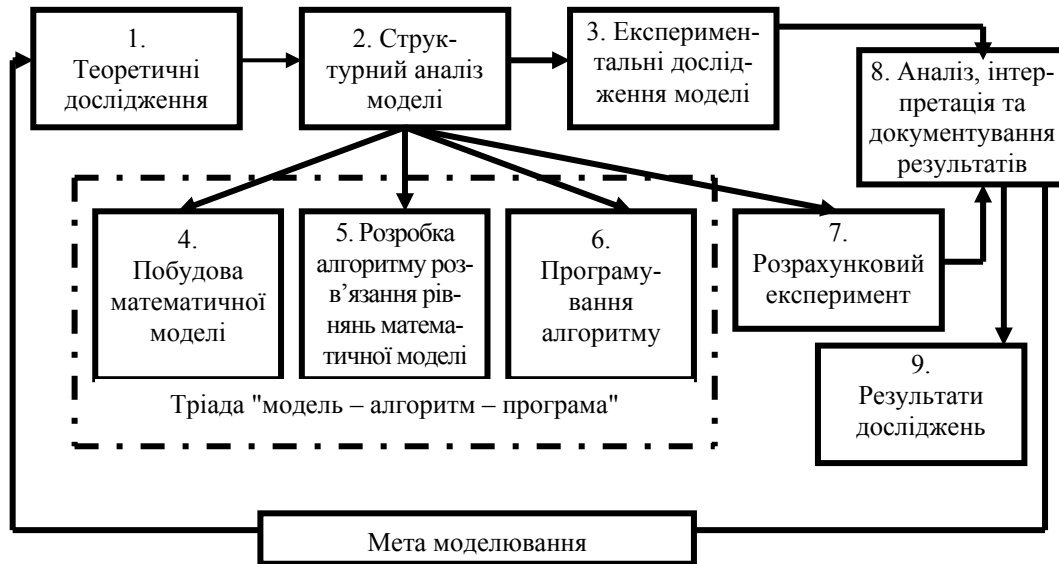


Рис. 3. Схема організації процесу моделювання

Розроблено комп'ютерну програму оптимізації рецептури нового швидкозамороженого багатокомпонентного напівфабрикату на основі баклажану.

Проведеними органолептичними дослідженнями встановлено, що найкращими смаковими властивостями відрізняються баклажани, фаршировані сумішшю із перцю, томатів, моркви, цибулі, кропу, часнику. Завдання полягало у розробленні математичної моделі для визначення оптимального співвідношення інгредієнтів, яке б при найкращих сенсорних властивостях гарантувало С-вітамінність продукту на рівні 30 % добової потреби. Розрахований *інтегральний показник якості* (ПЯ) як функція відгуку, за якою проведено оптимізацію, узагальнює одиничні показники якості з урахуванням їхніх коефіцієнтів вагомості. Встановлено, що ПЯ в межах 0.82–0.94 відповідає такому співвідношенню інгредієнтів: 50–65 % баклажанів, 6–10 перцю, 2–5 томатів і моркви, 6–12 цибулі, 2–6 кропу, до 2 % часнику. Для забезпечення смакових властивостей напівфабрикату до всіх рецептур додано кухонну сіль (не більше 2 % маси продукту).

Комп'ютерна програма розроблена в середовищі *MS Excel* із використанням мови програмування *VBA* й базується на розв'язанні

⁹ Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 224 с.

системи N рівнянь з n невідомими (кількість інгредієнтів) і передбачає послідовне виконання таких етапів:

- створення бази вхідних та вихідних параметрів;
- розрахунок комплексного показника якості за результатами експериментальних досліджень;
- визначення кореляційної залежності між параметрами;
- побудова функції апроксимації;
- пошук цільової функції.

Після запуску програми задаються інгредієнти продукту та показники, за якими буде розраховано ІПЯ (рис. 4).

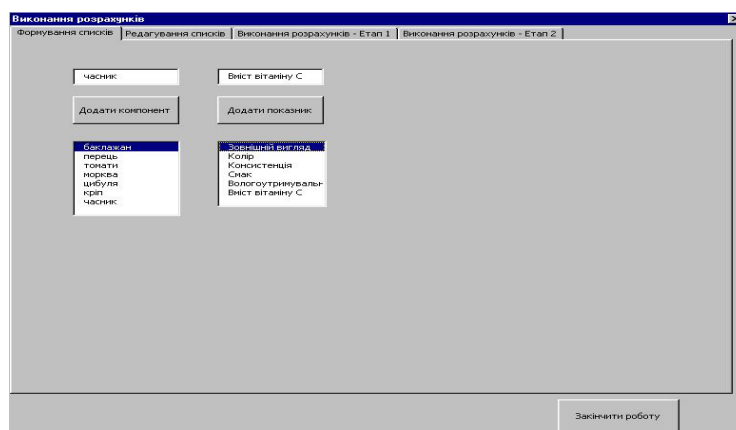


Рис. 4. Формування списків компонентів і показників

За необхідності програма передбачає можливість редагування обох списків.

Далі проводиться вибір інгредієнтів продукту (max 10) і показників (max 8), за якими розраховується ІПЯ.

На останній вкладці відкривається форма для введення кількісного або відсоткового складу продукту, коефіцієнтів вагомості показників, їхнього еталонного, бракувального та фактичного значення, що зумовлює розрахунок значення ІПЯ для цієї рецептури (рис. 5).

компонент	маса	Коеф. вагомості	Еталонне значення	Бракувальне значення p_i	P_i	
баклажан	63	0,2	5	2	4,5	0,83333
переш	10	0,1	5	2	4,8	0,93333
томати	5	0,15	5	2	4,8	0,93333
морква	4	0,2	5	2	4,9	0,96666
цибуля	11	0,15	95	80	92	0,8
кріп	5	0,2	55	20	43	0,65714
часник	2					

Рис. 5. Виконання розрахунків ПІЯ

Виконуючи розрахунки, програма заповнює матрицю $A (n \times n)$ і вектор $B (n \times 1)$, які зв'язані між собою рівнянням:

$$A X = B, \quad (1)$$

де a_{ij} – маса (відсоток) j -того компонента в i -тому рівнянні;

x_j – кореляційний коефіцієнт, що визначає вплив j -того компонента на ПІЯ;

b_i – значення показника якості для i -того рівняння, яке розраховується за формулою:

$$b_i = \sum_k c_{ik} b_{ik},$$

де $b_{ik} = \frac{p_i - p_{oi}}{p_{ei} - p_{oi}}$ (p_{ei} – еталонне значення, p_{oi} – бракувальне значення, p_i – фактичне значення), c_{ik} – коефіцієнт вагомості k -того показника в i -тому рівнянні.

Отриману систему з n рівнянь програма розв'язує за методом Гауса-Зейделя та знаходить значення коефіцієнтів x_j .

Далі формується цільова функція та обмеження, які розв'язуються симплекс-методом:

$$Z = \hat{a}_1 x_1 + \dots + \hat{a}_n x_n \rightarrow 1; \quad (2)$$

$$\hat{a}_1 + \dots + \hat{a}_n = \hat{a}; \quad (3)$$

$$\forall t \quad \widehat{a}_t \geq 0, \quad t = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де \widehat{a}_t – оптимальна маса t -того компонента, $t = \overline{1, n}$;

\widehat{a} – маса продукту.

Розв'язок задачі дає оптимальні значення компонентів (вагові або відсоткові), які наближають ІПЯ продукту до одиниці.

За спроектованою рецептурою вироблено дослідні партії швидкозаморожених фаршированих баклажанів, сенсорні дослідження яких підтвердили їхні високі смакові властивості та привабливий зовнішній вигляд після приготування.

Отже, застосування розробленої комп'ютерної програми дає змогу суттєво зменшити обсяг експериментальних досліджень, пов'язаних з оптимізацією рецептури багатокomпонентних продуктів та спростити процедуру комбiнування сировинних iнгредiєнтiв.