

11. Chudinov, A. V. Interpolational and smoothing cubic spline for mass spectrometry data analysis [Text] / A. V. Chudinov, W. Gao, Z. Huang, W. Cai, Z. Zhou, V. V. Raznikov, I. V. Sulimenkov // International Journal of Mass Spectrometry. — 2016. — № 396. — P. 42–47. doi:10.1016/j.ijms.2015.11.008
12. Kvasov, B. I. (2000). Methods of Shape-Preserving Spline Approximation [Text]: monograph / B. I. Kvasov. — World Scientific, 2000. — 356 p. doi:10.1142/9789812813381
13. Matt, M. A. Trivariate Local Lagrange Interpolation and Macro Elements of Arbitrary Smoothness [Text] / M. A. Matt. — Vieweg+Teubner Verlag, 2012. — 370 p. doi:10.1007/978-3-8348-2384-7
14. Jiwari, R. Lagrange interpolation and modified cubic B-spline differential quadrature methods for solving hyperbolic partial differential equations with Dirichlet and Neumann boundary conditions [Text] / R. Jiwari // Computer Physics Communications. — 2015. — № 193. — P. 55–65. doi:10.1016/j.cpc.2015.03.021
15. Moore, P. Efficient energy evaluations for active B-Spline/NURBS surfaces [Text] / P. Moore, D. Molloy // Computer-Aided Design. — 2014. — № 47. — P. 12–31. doi:10.1016/j.cad.2013.08.011

РОЗРОБКА ВЕКТОРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО БІСПЛАЙНА П'ЯТОГО СТЕПЕНЯ З КЕРУЮЧИМИ ТОЧКАМИ, ЩО ІНЦИДЕНТНІ ПОВЕРХНІ

Досліджено спосіб отримання бісплайна (векторно-параметричної поверхні) за допомогою сплайна п'ятого степеня з керуючими точками, що інцидентні поверхні. Було розроблено алгоритми для отримання бікубічної поверхні з першим, а потім другим та третім, і четвертим порядками гладкості. Наведено тестові приклади отриманих бісплайнів.

Ключові слова: векторно-параметричний сплайн, бісплайн, сплайн з керуючими точками, що інцидентні кривій, гладкість.

Ковтун Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра общинженерных дисциплин, Дунайский институт Национального университета «Одесская морская академия», Измаил, Одесская обл., Украина, e-mail: ikra55@list.ru.

Ковтун Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальноінженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Ізмаїл, Одеська обл., Україна.

Kovtun Alexander, Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy», Izmail, Odessa Region, Ukraine, e-mail: ikra55@list.ru

УДК 664.144

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.72035

Соколовська О. О.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРИ ПАСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ ВІДПОВІДНО ЗАДАНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

Враховуючи проблему сьогодення, пов'язану з порушенням роботи ендокринної системи через вживання простих цукрів та дефіциту йоду, запропоновано розробку рецептури пастильних виробів із використанням нетрадиційної сировини шляхом моделювання рецептури з повною або частковою заміною цукру білого з одночасним фортифікацією виробів йодом.

Ключові слова: моделювання рецептури, пастильні вироби, пастила, цукор білий, підсолоджувач, стевія, еламін.

1. Вступ

В умовах погіршення екологічної ситуації та зниження фізичної активності структура харчування населення не відповідає сучасним вимогам нутриціології, що пов'язано з надлишком вживання простих цукрів. В зв'язку з цим захворювання на цукровий діабет набуло епідеміологічного характеру, на ряду з яким нагального вирішення потребує проблема йододифіциту. На сьогодні, завданням харчової промисловості, особливо кондитерської галузі, є пошук шляхів зменшення вуглеводного навантаження цукристих кондитерських виробів, а саме зниження масової частки цукру з одночасною фортифікацією мінеральними речовинами, зокрема йодом.

Доцільність такого підходу викладено в наукових роботах [1–3].

Серед асортименту цукристих кондитерських виробів, особливе місце займають пастильні вироби, які мають збиту драглеподібну консистенцію, що надзвичайно приваблює споживачів. Однак, в їх рецептурі достатньо висока масова частка цукру білого до 48,0 %, що призводить до суттєвої надлишкової калорійності виробів та незбалансованості хімічного складу. У заданих концентраціях цукор білий приймає участь у формуванні каркасу пінної структури та притаманного смаку виробів. Саме тому значне його зменшення в рецептурі вимагає одночасне застосування підсолоджувача та структуроутворюючої речовини для збереження притаманних властивостей, які є нетрадиційною сировиною для пастильних виробів.

Ураховуючи особливості формування якості пастильних виробів в процесі виробництва та властивостей

запропонованої нетрадиційної сировини визначено доцільність моделювання рецептури на кожному етапі виробництва застосовувати сучасні методи дослідження, які базуються на використанні методів математичного моделювання [4], що обґрунтовує актуальність проведеного дослідження.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження — пастильні вироби зі стевією та еламіном, а саме пастила з водним екстрактом стевії, стевіозидом та еламіном. Пастила відноситься до групи кондитерських цукристих виробів, основною часткою в рецептурі яких є цукор білий (48,0 %).

Виробництво пастили становить складний процес, який протікає в дві стадії. Перша стадія — це приготування пастильної маси диспергаційним способом під час інтенсивного механічного перемішування яблучного пюре з цукром білим та яечним білком, рідиною захоплюється повітря, яке розділяється на дрібні частинки та формується пінна система, що є передумовою формування структури та консистенції готового виробу. Паралельно протікає друга — приготування цукрового сиропу (ЦС), процес якого полягає у поступовому поєднанні компонентів та їх уварюванні до необхідної кількості сухих речовин (78 %).

Пастила є традиційним кондитерським виробом регіону країн СНД, в асортименті зарубіжних країн дана продукція відсутня. Проте калорійність пастили достатньо висока, що пояснюється високим вмістом цукру білого, який класифікує їх, як вироби з високим ГІ та обмежує вживання [5].

3. Мета та задачі дослідження

Виходячи із вище написаного *метою дослідження* є моделювання рецептурного складу пастильних виробів шляхом використання нетрадиційної сировини для часткового або повного вилучення масової частки цукру з одночасною фортифікацією виробів йодом.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- визначити рецептурний склад цукрового сиропу за допомогою варіювання концентрацій агару та водного екстракту стевії у системі «агар-водний екстракт стевії» з метою зниження в ньому масової частки цукру білого без втрат якісних характеристик напівфабрикату;
- установити раціональне співвідношення стевіозиду під час формування пастильної маси, замінюючи цукор білий;
- раціоналізувати співвідношення рецептурних компонентів відповідно до заданих показників якості для пастили із застосуванням нетрадиційної сировини.

4. Аналіз літературних даних

Одним із шляхів вирішення проблеми зниження масової частки цукру є використання композиції з фруктози, ксиліту та ізомальту, що дало змоги знизити його на 8,0 % [6]. Науковцями у роботі [7] запропоновано використання суміші пектину та карагану під час виготовлення пастило-мармеладних виробів, за рахунок

чого знижено 45,0 % цукру білого. Автори роботи [8] обґрунтували можливість заміни частки цукру білого шляхом використання агаро-мальтіто-мальтозного сиропу та білково-інулін-яблучної суміші. В результаті чого було отримано продукцію зі зниженою масовою часткою цукру білого до 20,0 %.

Значне поширення одержав спосіб виробництва зефіру, який відрізняється тим, що у якості підсолоджувача використовують фруктозу і сорбіт, а наповнювача — яблучне і топінамбурове пюре. Розроблена рецептура дає можливість отримати безцукровий зефір і розширити асортимент дієтичних кондитерських виробів [9, 10]. Схожа комбінація рецептурних компонентів запропонована вченими Одеської національної академії харчових технологій. Представлено зефір, у складі якого використовується 75,0 % топінамбурового пюре, фруктоза та сорбіт, що дозволило виготовити вироби без цукру з покращеними реологічними властивостями [11]. На базі лабораторій Київського національного торговельно-економічного університету було представлено спосіб виробництва пастильних виробів з використанням дієтичних добавок — ламідану та цикорлату. Використання останнього дозволяє зменшити вміст цукру білого на 4,0–10,0 %, використання ламідану дозволило отримати фортифіковані йодом вироби [12].

Проведення аналітично-дослідницької роботи дозволило встановити, що перспективною сировиною при виробництві кондитерських виробів для зменшення масової частки цукру є нетоксичний, низькоенергетичний підсолоджувач стевія, який не викликає звикання та широко застосовується споживачами при цукровому діабеті та порушенні вуглеводного обміну [13]. Харчова промисловість Японії випускає 80,0 % загального обсягу продуктів споживання з використанням стевіозиду. Учені довели, що використання саме цього підсолоджувача не лише має позитивний ефект на організм людини, але й економічно доцільно [14]. Авторами роботи встановлено можливість введення в зефірну масу порошок сухої ламінарії з метою збагачення виробів йодом [15]. Ученими Харківського державного університету харчування та торгівлі обґрунтовано використання еламіну та ягідного пюре у виробництві зефіру не лише з метою збагачення виробів йодом, а й як стабілізатора пінної структури за рахунок наявності альгінату натрію [16].

5. Матеріали та методи досліджень

Математичне моделювання рецептури пастильних виробів із заданими показниками якості проводили за допомогою побудови математичної моделі та знаходження відповідних аналітичних залежностей між вхідними та вихідними показниками напівфабрикатів та готового продукту. Для знаходження рецептурного складу X використовували стандартну програму Minimize пакета MathCAD [17]. З огляду на літературні дані науково-дослідних робіт і патентного пошуку для розроблення рецептури пастильних виробів з нетрадиційною сировиною, використано йодовмісну добавку — еламін у вигляді порошку, підсолоджувач стевію — як водний і сухий екстракт. Сухий екстракт стевії обрано у формі дрібнодисперсного порошку — стевіозид, який широко розповсюджений серед дієтичних добавок.

6. Результати досліджень та їх обговорення

Визначення раціональних значень рецептури пастили з метою досягнення необхідного показників якості готової продукції є складною технологічною задачею і її рішення проведено на основі сучасних методів дослідження, до яких у першу чергу відносяться методи математичного моделювання [18]. Однак, приймаючи до уваги складність взаємозв'язків між вхідними та вихідними змінними готового виробу, що не дає у повній мірі використати основні фізико-хімічні закони та певна невизначеність параметрів сировини, що буде перероблятися, математичну модель розробки рецептури побудовано на основі регресійних співвідношень. Використання даної моделі дало можливість знайти співвідношення між вхідними та вихідними змінними пастили з введеною нетрадиційною сировиною, які у середньому вірно відтворюють ці залежності. Крім того, за рахунок використання сучасної теорії планування експерименту, що полягає у проведенні цілеспрямованих дослідів, зменшено кількість експериментів та скорочено загальний термін проведення досліджень.

Інноваційний задум даної розробки включає в себе два основних процеси: зниження масової частки цукру білого під час приготування цукрового сиропу шляхом використання водного екстракту стевії (ВЕС), який використовується як розчинник біополімеру — агару; заміна частки цукру стевіозидом в пастильній масі під час формування піної структури, використання якого прогнозовано позитивно впливатиме на піноутворювальну здатність (ПУ) яєчного білку. Вирішення поставлених завдань є передумовою раціоналізації рецептури пастильних виробів, в яких частково або повністю вилучено масову частку цукру з одночасною фортифікацією виробів йодом.

У зв'язку з цим змодельована рецептура цукрового сиропу за допомогою варіювання концентрацій агару та ВЕС у системі «агар — ВЕС». Для досягнення мети побудовано математичну модель виду (1), яка надала можливість знайти відповідні аналітичні дослідження між вхідними та вихідними показниками системи [19]:

$$M_i(x_1, x_2, x_3, x_4) = a_{1,i} + a_{2,i}x_1 + a_{3,i}x_2 + a_{4,i}x_3 + a_{5,i}x_4 + a_{6,i}x_1^2 + a_{7,i}x_2^2 + a_{8,i}x_3^2 + a_{9,i}x_4^2 + a_{10,i}x_1x_2 + a_{11,i}x_1x_3 + a_{12,i}x_1x_4 + a_{13,i}x_2x_3 + a_{14,i}x_2x_4 + a_{15,i}x_3x_4, \quad (1)$$

де a_i — коефіцієнти математичної моделі; $i = 1...4$ — ставлення до конкретних показників якості готового продукту.

Вхідні змінні для системи «агар — ВЕС» було представлено наступними величинами: x_1 — концентрація агару; x_2 — концентрація розчинника ВЕС. В якості показників якісних характеристик драглю агару обрано наступні величини: y_1 — міцність агарового драглю; y_2 — гранична напруга зсуву.

Вхідні змінні для системи «яєчний білок — стевіозид» представлено наступними величинами: x_1 — концентрація стевіозиду; x_2 — час процесу збивання яєчного білку. В якості показників якісних характеристик драглю агару обрано наступну величину: y_1 — піноутворююча здатність яєчного білку.

Використання моделі виду (1) дало можливість знайти, у певному розумінні, найкращі сполучення щодо показників технологічного процесу відносно до показників якості. Згідно з загальною теорією проведення експериментальних досліджень для визначення коефіцієнтів моделі шляхом проведення повного факторного експерименту необхідно побудувати таблицю, яка складається з 29 дослідів. В цій таблиці відтворюються всі можливі сполучення між вхідними змінними, а також можуть додаватися і інші точки які являють певний науковий інтерес. Однак, для зменшення числа дослідів у якості плану експерименту було обрано D — оптимальний насичений план який складається з 9 дослідів. Цей план не передбачає перевірку всіх комбінацій вхідних величин, як у плані повного факторного експерименту, але він по точності відтворення математичної моделі наближається до нього (табл. 1).

Таблиця 1

План повнофакторного експерименту

Фактор варіювання	Номер дослідів								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	-1	1	-1	1	-1	1	0	0	0
X_2	1	-1	-1	1	0	0	-1	1	0

В якості вхідних змінних у табл. 1 використовуються кодовані значення, які знаходяться з виразу (2):

$$Xi = \frac{x_i - \frac{x_{i\max} + x_{i\min}}{2}}{\frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{2}}, \quad (2)$$

де $i = 1...4$ і означає відповідну вхідну змінну.

За допомогою перетворення (2) діапазон вхідних змінних дорівнював $(1...-1)$, що дало можливість швидко попередньо оцінити коефіцієнти математичної моделі. Після визначення таблиці експерименту, на її основі створено матрицю експерименту F , яка враховує обраний вид математичної моделі. У кожній точці експерименту проводилось не менше двох вимірювань з метою зменшення впливу похибок вимірювання, для подальшого обчислення коефіцієнтів моделі брали середнє значення проведених вимірювань.

Побудована матриця експерименту F та визначені коефіцієнти математичної моделі (3)–(5).

— матриця експерименту системи «агар — ВЕС»:

$$F := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad x := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$y := \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, Y1 := \begin{pmatrix} 4000 \\ 4500 \\ 3200 \\ 3600 \\ 3900 \\ 3400 \\ 3400 \\ 4400 \\ 3700 \end{pmatrix}, Y2 := \begin{pmatrix} 1900 \\ 3200 \\ 3600 \\ 3400 \\ 2700 \\ 2200 \\ 3500 \\ 2600 \\ 2300 \end{pmatrix}; \quad (3)$$

— матриця експерименту системи «яєчний білок — стевіозид»:

$$F := \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Y1 := \begin{pmatrix} 295 \\ 280 \\ 420 \\ 490 \\ 490 \\ 500 \\ 310 \\ 480 \\ 510 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

— визначення коефіцієнтів моделі системи «агар — ВЕС»:

$$a1 := (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \cdot Y1, \\ a1 = \begin{pmatrix} 3,711 \times 10^3 \\ 450 \\ -233,333 \\ 183,333 \\ -66,667 \\ -25 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$a2 := (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \cdot Y2;$$

— визначення коефіцієнтів моделі системи «яєчний білок — стевіозид»:

$$a1^T = (513,889 \ 84,167 \ 10,833 \ -120,833 \ -20,833 \ 21,25), \\ a1 := (F^T \cdot F)^{-1} \cdot F^T \cdot Y1.$$

Визначення коефіцієнтів моделі проводилося за формулою:

$$a = (F^T F)^{-1} F^T Y, \quad (6)$$

де Y — матриця даних експерименту.

Для процесу отримання агарового драглю було отримано дві моделі виду (1) для кожного показника його якості, процес отримання піни відповідно якісних характеристик описано однією квадратичною моделлю (7)–(9).

— системи «агар — ВЕС»:

$$Q1(x,y) := a1_0 + a1_1 \cdot x + a1_2 \cdot y + a1_3 \cdot x^2 + a1_4 \cdot y^2 + a1_5 \cdot x \cdot y,$$

$$F1 := \text{CreateMesh}(Q1, -1, 1, -1, 1, 20); \quad (7)$$

$$Q2(x,y) := a2_0 + a2_1 \cdot x + a2_2 \cdot y + a2_3 \cdot x^2 + a2_4 \cdot y^2 + a2_5 \cdot x \cdot y,$$

$$F2 := \text{CreateMesh}(Q1, -1, 1, -1, 1, 20). \quad (8)$$

— системи «яєчний білок — стевіозид»:

$$Y(X1, X2) := a1_{0,0} + a1_{1,0} \cdot X1 + a1_{2,0} \cdot X2 + a1_{3,0} \cdot X1^2 + a1_{4,0} \cdot X2^2 + a1_{5,0} \cdot X1 \cdot X2,$$

$$F1 := \text{CreateMesh}(Y, -1, 1, -1, 1, 20). \quad (9)$$

Отже, кожний показник якості системи може бути описаний відповідними співвідношеннями, де в якості змінних використовуються вхідні параметри рецептури.

В результаті проведено перехід до природних значень (10), (11):

— системи «агар — ВЕС»:

$$\left| (F^T \cdot F)^{-1} \right| = 1,929 \times 10^{-4},$$

$$K1_i := Q1(x_i, y_i),$$

$$K2_i := Q2(x_i, y_i),$$

$$S := \sum_{i=0}^8 (K1_i - Y1_i)^2,$$

$$i := 0 \dots 8,$$

$$S = 8,611 \times 10^3,$$

$$S = 1,528 \times 10^4,$$

$$S := \sum_{i=0}^8 (K2_i - Y2_i)^2,$$

$$F \cdot a1 = \begin{pmatrix} 4,019 \times 10^3 \\ 4,536 \times 10^3 \\ 3,169 \times 10^3 \\ 3,586 \times 10^3 \\ 3,878 \times 10^3 \\ 3,411 \times 10^3 \\ 3,444 \times 10^3 \\ 4,344 \times 10^3 \\ 3,711 \times 10^3 \end{pmatrix}, F \cdot a2 = \begin{pmatrix} 1,936 \times 10^3 \\ 3,219 \times 10^3 \\ 3,619 \times 10^3 \\ 3,403 \times 10^3 \\ 2,678 \times 10^3 \\ 2,144 \times 10^3 \\ 3,478 \times 10^3 \\ 2,544 \times 10^3 \\ 2,378 \times 10^3 \end{pmatrix}; \quad (10)$$

— системи «яєчний білок — стевіозид»:

$$P1 = \begin{pmatrix} 0,389 \\ 0,458 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$Y(P1_0, P1_1) = 532,723.$$

З (10), (11) визначено раціональні співвідношення рецептурних компонентів, як з точки зору міцності системи «агар — ВЕС», так відповідно показнику граничної напруги зсуву — $x_1 = 0,6$ г (3,0 %) агару в діапазоні варіювання 0,4...0,6 г, $x_2 = 1,0$ % ВЕС, в діапазоні 1,0...2,0 % на 100 г. Результати дослідження раціональної концентрації стевіозиду та часу збивання показали, що

кращі значення знаходяться області при концентрації стевіозиду $C_{\text{стев}} = 1,5...2,5$ % та механічному впливу протягом $\tau = 5...7$ 60 с.

Використовуючи результати дослідження, отримано математичну модель виду (1), на основі якої значення рецептури проєктованого виробу, дозволили максималь-но наблизитись до бажаних значень показників якості готового виробу, що виражено у вигляді математичних моделей з урахуванням коефіцієнтів (12).

$$Q5(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_{50} + b_{51} \cdot x_1 + b_{52} \cdot x_2 + b_{53} \cdot x_3 + b_{54} \cdot x_4 + b_{55} \cdot x_1^2 + \dots + b_{56} \cdot x_2^2 + b_{57} \cdot x_3^2 + b_{58} \cdot x_4^2 + b_{59} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{5_{10}} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{5_{11}} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{5_{12}} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots + b_{5_{13}} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{5_{14}} \cdot x_3 \cdot x_4,$$

$$Q4(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_{40} + b_{41} \cdot x_1 + b_{42} \cdot x_2 + b_{43} \cdot x_3 + b_{44} \cdot x_4 + b_{45} \cdot x_1^2 + \dots + b_{46} \cdot x_2^2 + b_{47} \cdot x_3^2 + b_{48} \cdot x_4^2 + b_{49} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{4_{10}} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{4_{11}} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{4_{12}} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots + b_{4_{13}} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{4_{14}} \cdot x_3 \cdot x_4,$$

$$Q1(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_{10} + b_{11} \cdot x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 + b_{15} \cdot x_1^2 + \dots + b_{16} \cdot x_2^2 + b_{17} \cdot x_3^2 + b_{18} \cdot x_4^2 + b_{19} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{1_{10}} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{1_{11}} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{1_{12}} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots + b_{1_{13}} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{1_{14}} \cdot x_3 \cdot x_4,$$

$$Q2(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_{20} + b_{21} \cdot x_1 + b_{22} \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_4 + b_{25} \cdot x_1^2 + \dots + b_{26} \cdot x_2^2 + b_{27} \cdot x_3^2 + b_{28} \cdot x_4^2 + b_{29} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{2_{10}} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{2_{11}} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{2_{12}} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots + b_{2_{13}} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{2_{14}} \cdot x_3 \cdot x_4,$$

$$Q3(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_{30} + b_{31} \cdot x_1 + b_{32} \cdot x_2 + b_{33} \cdot x_3 + b_{34} \cdot x_4 + b_{35} \cdot x_1^2 + \dots + b_{36} \cdot x_2^2 + b_{37} \cdot x_3^2 + b_{38} \cdot x_4^2 + b_{39} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{3_{10}} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{3_{11}} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{3_{12}} \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots + b_{3_{13}} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{3_{14}} \cdot x_3 \cdot x_4. \quad (12)$$

З огляду на попередні дослідження та рецептуру, що обрано за прототип, для побудови математичної моделі у якості вхідних змінних використано наступні величини: x_1 — цукор білий 9,8...26,1 %; x_2 — еламін 1,1...2,0 %; x_3 — стевіозид 1,94...2,5 %; x_4 — яблука сухі 6,0...10,0 %. Враховуючи властивості пастильних виробів, відібрано показники якості, які найбільше характеризують відповідність готових виробів вимогам ДСТУ 6441-2003. В якості параметрів оптимізації обрано наступні вихідні величини: y_1 — в'язкість (зменшення масової частки цукру білого впливатиме на в'язкість пастильної маси); y_2 — органолептична оцінка (відповідно до шкали Д. Тільгнера); y_3 — ПУ пастильної маси (використання еламіну та стевіозиду впливає на даний показник, що в свою чергу матиме відображення на щільності готових виробів); y_4 — масова частка сухих речовин (нормуються з урахуванням введення яблук сухих подрібнених та впливу на консистенцію готових виробів); y_5 — вміст

йоду (обрано саме тому, що завданням даних досліджень є фортифікація готових виробів йодом).

Для визначення коефіцієнтів моделі шляхом повнофакторного експерименту необхідно провести 49 дослідів можливих співвідношення між вхідними змінними. Проте, з метою зменшення числа експериментів використано насичений D-оптимальний план, що складається з 15 дослідів, побудовано матрицю експерименту F (13).

$$F := \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$X := \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Знайдено шляхом математичного моделювання значення параметрів рецептури пастили в кодованих змінних (14).

$$c = \text{Min}(Q, X), \quad (14)$$

де c — значення вектору параметрів технологічного процесу, які забезпечують виконання; X — вектор вхідних змінних процесу, що визначає рецептуру.

В ході дослідження проаналізовано коефіцієнти вагомості показників y , визначено (15)–(17), що найпріоритетнішим є показник y_5 , який характеризує профілактичну дію виробів йододифіцитних станів.

Матриця моделі якості:

$$Q(x_1, x_2, x_3, x_4) := \begin{pmatrix} Q1(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ Q2(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ Q3(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ Q4(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ Q5(x_1, x_2, x_3, x_4) \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Задані значення якості:

$$q := \begin{pmatrix} 4,7 \\ 5,0 \\ 77 \\ 600 \\ 216 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Коефіцієнти вагомості:

$$k := \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,25 \\ 0,15 \\ 0,15 \\ 0,25 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Значення показників якості пастильних виробів, які вважали кращими, визначено наступним чином: $y_1 = 4,7$ Па·с; $y_2 = 5$ баллів; $y_3 = 78,0$ %; $y_4 = 610$ %; $y_5 = 216$ мкг/100 г.

В ході дослідження знайдено критерії оптимізації рецептури для моделі пастили, враховуючи початкові умови визначено діапазон зміни вхідних компонентів, після чого застосовано функцію оптимізації для визначення оптимальних значень вхідних змінних та отримано результат оптимізації. Використовуючи отримані результати знайдено значення показників якості за математичною моделлю:

$$R(x_1, x_2, x_3, x_4) := \sum_{i=1}^4 \left[(Q(x_1, x_2, x_3, x_4)_i - q_i) \cdot k_i \right]^2,$$

$$-1 \leq x_1 \leq 1, \quad -1 \leq x_2 \leq 1, \quad -1 \leq x_3 \leq 1, \quad -1 \leq x_4 \leq 1,$$

$$C := \text{Minimize } (R, x_1, x_2, x_3, x_4),$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 \\ 0,988 \\ -0,051 \\ 0,096 \end{pmatrix}, \quad Q(C_0, C_1, C_2, C_3) = \begin{pmatrix} 4,84 \\ 4,398 \\ 79,213 \\ 599,871 \\ 215,842 \end{pmatrix}.$$

В результаті отримано наступні значення рецептури: $x_1 = 14,625441$; $x_2 = 1,21324$; $x_3 = 0,12311$; $x_4 = 9,862$. Здобуті значення були перевірені при проведенні додаткових експериментів, які дали можливість уточнити окремі показники рекомендованої рецептури з урахуванням можливості коливання окремих компонентів. Остаточо були обрані наступні значення параметрів технологічного процесу: $x_1 = 14,5$; $x_2 = 1,2$; $x_3 = 0,12$;

$x_4 = 10,0$, які є рекомендованими значеннями для даного виробництва пастили.

6. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Ураховуючи особливості формування якості пастильних виробів в процесі виробництва та властивостей запропонованої нетрадиційної сировини за допомогою математичного моделювання раціоналізовано рецептурний склад пастили з частковим вилучення масової частки цукру білого з одночасною фортифікацією виробів йодом. Отриманий результат досягався за рахунок визначення концентрацій агару $C_{\text{аг}} = 3$ % та водного екстракту стевії $C_{\text{стев}} = 1,0$ % під час приготування цукрового сиропу, з метою зниження в ньому масової частки цукру білого без втрат якісних характеристик напівфабрикату.
2. Паралельно встановлено діапазон раціональної концентрації стевіозиду $C_{\text{стев}} = 1,5...2,5$ % формування пастильної маси, шляхом заміни ним цукру білого.
3. Отримані результати дали змогу раціоналізувати співвідношення рецептурних компонентів відповідно до заданих показників якості для пастили із застосуванням нетрадиційної сировини: $x_1 = 14,5$; $x_2 = 1,2$; $x_3 = 0,12$; $x_4 = 10,0$, які є рекомендованими значеннями для даного виробництва пастили.

Література

1. Арсеньєва, Л. Ю. Методологічні підходи до розроблення нових видів хлібобулочних виробів зі збалансованим хімічним складом [Текст] / Л. Ю. Арсеньєва, Я. Ф. Доценко, О. О. Момот // Харчова промисловість. — 2005. — № 4. — С. 5–8.
2. Сирохман, І. В. Тістечка, збагачені йодом [Текст] / І. В. Сирохман, Н. С. Палько // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2010. — № 33. — С. 48–50.
3. Rudavska, A. New products for school food of the iodine deficiency biogeochemical provinces [Text] / A. Rudavska, N. Shapovalova, M. Roudavsky, H. Zhukevych // 18th IGWT Symposium Technology and Innovation for a Sustainable Future: a Commodity Science Perspective. — Rome, Italy, 2012. — P. 487–499.
4. Рудавська, Г. Б. Реологічні властивості нових пастильних виробів [Текст] / Г. Б. Рудавська, Н. П. Шаповалова, О. В. Романенко // Продовольча індустрія АПК. — 2011. — № 5. — С. 34–37.
5. Шаповалова, Н. П. Изменение адгезионных свойств новых пастильных изделий оздоровительного назначения [Текст] / Н. П. Шаповалова // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития. — 2013. — № 1. — С. 1–8.
6. Васькина, В. А. Сахарозаменители в технологии производства зефира [Текст] / В. А. Васькина // Кондитерское производство. — 2011. — № 1. — С. 16–19.
7. Барашкина, Е. В. Пастило-мармеладные изделия с композиционным структурообразователем [Текст] / Е. В. Барашкина, М. Ю. Тамова, Г. И. Касьянов // Кондитерское производство. — 2003. — № 2. — С. 24.
8. Способ производства зефира [Текст]: пат. 2372786 РФ, МПК А 23G3/52 / Васькина В. А., Горячева Г. Н., Мухамедиев Ш. А., Сидоренко М. Ю., Сидоренко Ю. И., Соловьева С. Ю., Туманова А. Е., Шеховцова Т. Г.; заявитель и патентообладатель: Васькина В. А. — № 2008122362/13; заявл. 04.06.2008; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 54. — 6 с.
9. Иоргачева, Е. Г. Топинамбуровое пюре — сырьевая основа для зефира [Текст]: тези доп. наук.-практ. конф. / Е. Г. Иоргачева, С. И. Банова // Актуальні проблеми технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв. — Харків, 2003. — С. 294–300.

10. Иоргачева, Е. Г. Новые сбивные кондитерские изделия [Текст]: тезисы докл. науч.-техн. конф. / Е. Г. Иоргачева, С. И. Банова // Техника и технология пищевых производств. — Москва, 2002. — С. 79–80.
11. Дієтичний зефір [Текст]: пат. 51470 Україна, МПК А23G3/00 / Іоргачова К. Г., Капрельянц Л. В., Маштакова А. Є., Олександрова Т. І., Банова С. І.; заявник та патентовласник: Одеська національна академія харчових технологій. — № 2002042766; заявл. 08.04.2002; опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11. — 8 с.
12. Спосіб виробництва зефіру [Текст]: пат. 73692 Україна, МПК А23L1/32 / Шаповалова Н. П., Рудавська М. В., Павлишин М. Л.; заявник і патентовласник: Шаповалова Н. П., Рудавська М. В., Павлишин М. Л. — № u 201200819; заявл. 26.01.2012; опубл. 10.10.2012. Бюл. № 19. — 8 с.
13. Смирнова, М. Г. Исследование физиологического и токсического действия на организм подсластителя стевियोзида [Текст] / М. Г. Смирнова // Вопросы питания. — 2001. — № 4. — С. 41–44.
14. Khattab, S. N. Production and physicochemical assessment of new ste via amino acid sweeteners from the natural stevioside [Text] / S. N. Khattab, M. I. Massoud, Y. E.-S. Jad, A. A. Bekhit, A. El-Faham // Food Chemistry. — 2015. — № 173. — P. 979–985. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.093
15. Румянцева, В. В. Разработка нового ассортимента зефира с направленным изменением химического состава [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / В. В. Румянцева; Воронежская государственная технологическая академия. — Воронеж, 2000. — 21 с.
16. Білецька, Я. О. Формування якості зефіру з використанням еламіну та ягідних пюре [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Я. О. Білецька; Харківський університет харчування та торгівлі. — Харків, 2012. — 21 с.
17. Дьяконов, В. П. Mathcad 11/12/13 в математике [Текст]: справочник / В. П. Дьяконов. — М.: Горячая линия, Телеком, 2007. — 928 с.
18. Власов, К. П. Методы исследований и организация экспериментов [Текст] / под ред. проф. К. П. Власова. — Х.: Гуманитарный центр, 2002. — 256 с.
19. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст]: пер. с англ. / Н. Дрейпер, Г. Смит. — М.: Вильямс, 2007. — 912 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ПАСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В СООТВЕТСТВИИ С ЗАДАНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА

Учитывая проблему сегодняшнего дня, связанную с нарушением работы эндокринной системы из-за употребления простых сахаров и дефицита йода, предложена разработка рецептуры пастильных изделий с использованием нетрадиционного сырья путем моделирования рецептуры с полной или частичной заменой сахара белого с одновременной фортификацией изделий йодом.

Ключевые слова: моделирование рецептуры, пастильные изделия, пастила, сахар белый, подсластитель, стевия, эламин.

Соколовська Олена Олександрівна, асистент, здобувач, кафедра товарознавства та експертизи товарів, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна, e-mail: dreamhouse@yandex.ru.

Соколовская Елена Александровна, ассистент, соискатель, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

Sokolovska Olena, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine, e-mail: dreamhouse@yandex.ru