

# ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ІНГРЕДІЄНТІВ

УДК 664.143:613.2

Бадрук В.В., Зінченко Т.В., канд. фіз.-мат. наук, доц.,  
Дорохович А.М., д-р техн. наук, проф. (НУХТ, Київ)

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНИХ КОМПОЗИЦІЙ КОНДИТЕРСЬКОГО ВИРОБУ МАРШМЕЛОУ ДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Запропоновано удосконалену методикау оптимізації рецептурних композицій шляхом використання трифакторного рототабельного центрального композиційного планування (ЦКП) на прикладі піноподібного кондитерського виробу маршмелоу дієтичного призначення. Визначено оптимальні значення керованих факторів, на основі яких розроблено і створено рецептуру на новий виріб.*

*Ключові слова: оптимізація, методологія, рецептурний склад, цукровий діабет, фруктоза, ізомальт.*

**Постановка проблеми ті її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Оптимізація – це цілеспрямована діяльність, яка полягає в отриманні найкращих результатів за відповідних умов. Розв'язання завдання оптимізації починається із встановлення мети оптимізації, тобто з формування вимог до об'єкта оптимізації. Правильно сформульовані вимоги суттєво впливають на розв'язання поставлених завдань.

Для розв'язання завдань оптимізації треба мати ресурси оптимізації, тобто свободу вибору значень параметрів об'єкта, який оптимізується. Іншими словами, об'єкт оптимізації повинен мати керовані фактори, які дозволяють змінювати стан об'єкта відповідно до тих чи інших вимог. Однією з головних умов правильної постановки оптимального завдання є наявність кількісної оцінки якості об'єкта оптимізації.

Кількісна оцінка якості об'єкта, який оптимізується, називається критерієм оптимальності або цільовою функцією, функцією якості, економічним критерієм. Вид критерію оптимальності визначається конкретним змістом завдання оптимізації, іноді він може здійснювати суттєвий вплив на вибір методу його розв'язання.

Основними елементами завдання оптимізації є:

- побудова моделі фізичного процесу;
- вибір цільової функції;

– визначення обмежень на змінні стану й управління.

Завдання оптимізації необхідно розв'язувати під час розроблення і впровадження нових технологічних процесів, під час розроблення нової продукції визначеної спрямованості. Результативність досліджень залежить від вдалого використання досягнень як у галузі досліджуваного об'єкта, у нашому випадку в кондитерській галузі, так і в інших областях (знання хімії, фізики, біології, математики й інших наук) [1].

Постановка та розв'язання завдань оптимізації також є невід'ємною складовою у розробці нових видів кондитерських виробів піноподібної структури (пастила, зефір, збивний лукум, білково-збивне печиво, маршмелоу, суфле, крема тощо), які займають значний відсоток виробництва кондитерських виробів.

Останнім часом досить широкого попиту у населення набуває новий кондитерський виріб піноподібної структури – маршмелоу [2]. Сам продукт відомий ще з часів стародавнього Єгипту, де його готували з додаванням меду, а в'язучим компонентом був сік кореня рослини марш малоу (алтей аптечний), що і дало назву продукту.

Існувало два способи виготовлення маршмелоу: один – із соку алтея звичайного з додаванням горіхів і меду і другий – з використанням кореня алтея. Корінь очищали, потім кип'ятили серцевину й отримували м'яку і в'язку масу, яку потрібно було довго жувати. Сік кореня алтея використовували до середини 1800-х років. Поступово сік кореня алтея було замінено на желатин. Таким чином, основними компонентами сучасного маршмелоу є цукрова пудра, желатин, патока, ароматичні та смакові речовини і вода.

Недоліком цього кондитерського виробу є те, що до його рецептурного складу у досить значній кількості входить цукор (сахароза). Надмірне споживання легкозасвоюваних вуглеводів потребує виділення великої кількості інсуліну, що може перевантажити підшлункову залозу та призвести до цукрового діабету – досить поширеної хвороби, що з кожним роком набуває все більшого розмаху [3; 4].

За даними Міжнародної федерації діабету 2011 року кількість хворих на цукровий діабет у світі досягла рекордної цифри – 366 мільйонів, а в 2030 році становитиме 552 мільйони. В Україні ж кількість зареєстрованих хворих на цукровий діабет досягла 1 221 300 осіб, що становить 2667,6 на 100 тис. населення. У структурі ендокринних захворювань цукровий діабет посідає друге місце (31,88%) після патології щитоподібної залози (46,67%).

Стрімке зростання цукрового діабету й інших патологій цивілізації ставить перед дослідниками дуже актуальне питання пошуку альтернативної сировини та шляхів отримання нових кондитерських виробів на основі цієї сировини, споживання яких не впливало б негативно на організм людини, а виявляло б оздоровчу дію. Такою сировиною є цукрозамінники. Сьогодні у світі виробляється досить широкий спектр цукрозамінників природного походження. Нашу увагу привернув поліол – ізомальт.

Ізомальт – солодкий низькокалорійний цукрозамінник, який служить структуроутворювачем у харчових продуктах і за деякими властивостями подібний до сахарози. Ізомальт – біла, кристалічна, негігроскопічна, термостійка

речовина, яка не має запаху. На відміну від сахарози, ізомальт надзвичайно інертний до хімічного чи ензиматичного гідролізу. Ізомальт має цілий ряд переваг над іншими поліолами. Солодкий смак ізомальту подібний до сахарози, проте менш інтенсивний і складає 0,6 солодкості сахарози. Ізомальт у суміші з цукрозамінниками з інтенсивним солодким смаком має синергетичний ефект збільшення солодкості. На відміну від інших поліолів, ізомальт не має металевого присмаку. Повільно розчиняючись у ротовій порожнині, він зумовлює збільшення тривалості відчуття солодкого смаку. Ізомальт має цілу низку властивостей, подібних до інших поліолів. Ізомальт належить до речовин із пребіотичними властивостями, що робить його цінним продуктом для застосування у виробках спеціального дієтичного споживання. Калорійність ізомальту дорівнює 2-2,4 ккал/г (8,4-10 кДж/г) [5; 6], що дає можливість виробляти на його основі низькокалорійні кондитерські вироби, які можуть споживати особи з підвищеною масою тіла. Головною перевагою ізомальту є те, що його можна споживати хворим на цукровий діабет. Дослідження [7] показали, що підвищення рівня глюкози й інсуліну у крові після споживання ізомальту незначне порівняно з цукром.

Заміна цукру (сахарози) на ізомальт у рецептурному складі під час виробництва маршмелоу не забезпечувала необхідних структурно-механічних властивостей виробу. Тому для надання виробу необхідних структурно-механічних та органолептичних властивостей було вирішено використовувати ізомальт у суміші із фруктозою. Вибір було обґрунтовано тим, що фруктоза має високу гігроскопічність, що буде запобігати процесу черствіння маршмелоу, і високу солодкість, що буде забезпечувати підвищену потребу у солодкому хворих на цукровий діабет.

Для оптимізації рецептурного складу виробу застосовували центральне композиційне рототабельне планування (ЦКРП) експерименту з кількістю дослідів  $2^3 = 8$ , які утворюють повний трифакторний експеримент, і дослідів в  $2n = 6$  «зіркових» точках з «плечем»  $\bar{b}$ . «Зіркові» точки в кодованому вигляді мають координати  $(\pm \bar{b}; 0; 0)$ ,  $(0; \pm \bar{b}; 0)$ ,  $(0; 0; \pm \bar{b})$ , де  $\bar{b} \approx 1,41$ .

За керовані фактори було прийнято: кількість ізомальту ( $X_1$ ), кількість фруктози ( $X_2$ ) та кількість желатинової маси з гідромодулем 1:4 ( $X_3$ ). Вихідним фактором оптимізації є значення граничної напруги зсуву ( $\gamma$ ). Діапазон факторного простору наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Діапазони факторного простору

Рівні факторів	Позначення	Досліджувані фактори		
		Кількість ізомальту, ( $X_1$ ), %	Кількість фруктози, ( $X_2$ ), %	Кількість желатинової маси, ( $X_3$ ), %
Нульовий рівень	$X_0$	38	18	38
Інтервал варіювання	л	5	4	10
Верхній рівень	$X^+$	43	22	48
Нижній рівень	$X^-$	33	14	28

За результатами експерименту отримали рівняння регресії другого порядку для визначення оптимального співвідношення між керованими факторами.

Повне рівняння регресії другого порядку для трифакторної моделі має вигляд:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (1)$$

Для визначення десяти невідомих коефіцієнтів функції (1) кількість різних точок проведення експериментів повинна бути не меншою за десять.

У випадку трифакторного рототабельного ЦКП число дослідів факторного планування та дослідів у «зіркових точках» із розміром «зіркового плеча»  $\alpha$  разом становить чотирнадцять.

Для повного статистичного дослідження математичної моделі додатково виконують певну кількість дослідів у точці центру факторного плану, тому загальна кількість дослідів становить  $N = 2^n + 2n + n_0$ , де  $n$  – кількість факторів,  $2^n$  – кількість точок факторного експерименту,  $2n$  – кількість «зіркових точок»,  $n_0$  – кількість дослідів у центрі плану.

Кодовані значення даних за результатами дослідів для випадку  $n = 3$ ,  $n_0 = 6$ ,  $N = 20$  занесено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Матриця експерименту

Система дослідів	№ дослідів	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_2X_3$	$X_1X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$y_i$ , кПа
ПФЕ типу $2n$	1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	2,74
	2	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	4,90
	3	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	2,86
	4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	1,88
	5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	5,15
	6	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	2,71
	7	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	1,50
Досліди в «зіркових» точках	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	4,09
	9	-6	0	0	0	0	0	62	0	0	2,71
	10	+6	0	0	0	0	0	62	0	0	4,18
	11	0	-6	0	0	0	0	0	62	0	1,59
	12	0	+6	0	0	0	0	0	62	0	3,75
	13	0	0	-6	0	0	0	0	0	62	3,36
	14	0	0	+6	0	0	0	0	0	62	1,64
Досліди в центрі плану	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,00
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,57
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,23
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,61
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,12
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,33

Якщо трифакторну функцію регресії (1) розглядати як лінійну функцію дев'яти змінних (за кількістю змінних доданків), то, застосовуючи методи математичної статистики, можна залучити формули (2) до обчислення коефіцієнтів функції регресії (1). Для спрощення формул введемо позначення:

$$I_0 = \sum_{i=1}^N y_i; I_j = \sum_{i=1}^N x_{ij} y_i; I_{jk} = \sum_{i=1}^N x_{ij} x_{ik} y_i; I_{jj} = \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 y_i; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n$$

$$N = 20; w = 8 + 2\alpha^4; v = 8 + 2\alpha^2$$

$$A = 20(w + 16) - 3v^2; B = 20(w + 8) - 2v^2; C = 20 \cdot 8 - v^2; q = 2\alpha^4$$
(2)

Коефіцієнти функції регресії (1) обчислюються за формулами:

$$b_0 = \frac{w + 16}{A} I_0 - \frac{v}{A} (I_{11} + I_{22} + I_{33});$$

$$b_1 = \frac{1}{v} I_1; b_2 = \frac{1}{v} I_2; b_3 = \frac{1}{v} I_3; b_{12} = \frac{1}{8} I_{12}; b_{13} = \frac{1}{8} I_{13}; b_{23} = \frac{1}{8} I_{23};$$

$$b_{11} = -\frac{v}{A} I_0 + \frac{B}{qA} I_{11} - \frac{C}{qA} (I_{22} + I_{33}); b_{22} = -\frac{v}{A} I_0 + \frac{B}{qA} I_{22} - \frac{C}{qA} (I_{11} + I_{33});$$

$$b_{33} = -\frac{v}{A} I_0 + \frac{B}{qA} I_{33} - \frac{C}{qA} (I_{11} + I_{22}).$$
(3)

Тоді рівняння регресії, отримане відповідно до даних таблиці 2 у кодовій формі, матиме вигляд:

$$y = 2,45 + 0,63X_1 + 0,57X_2 - 0,66X_3 + 0,47X_1X_2 - 0,68X_2X_3 + 0,68X_1X_3 + 0,54X_1^2 + 0,15X_2^2 + 0,06X_3^2$$
(4)

Перевірка адекватності показала, що отримане рівняння є адекватним рівнянням регресії процесу. Тому це рівняння може бути підставою для пошуку оптимальних умов ведення процесу.

Для знаходження можливої екстремальної точки функції регресії необхідно прирівняти до нуля всі частинні похідні функції і розв'язати відповідну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial X_1} = 0,63 + 0,47X_2 + 0,68X_3 + 1,08X_1 = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial X_2} = 0,57 + 0,47X_1 - 0,68X_3 + 0,30X_2 = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial X_3} = -0,66 + 0,68X_1 - 0,68X_2 + 0,12X_3 = 0. \end{cases}$$
(5)

Методом Крамера отримали розв'язання системи рівнянь:  $X_1^0 = -0,206$ ;  $X_2^0 = -1,143$ ;  $X_3^0 = 0,191$ . Це означає, що «поверхня» у  $(X_1, X_2, X_3)$  є центральною з координатами центру  $(X_1^0, X_2^0, X_3^0)$ . Значення кореляційної функції (4) в цій точці дорівнює:  $y = y(-0,206; -1,143; 0,191) = 1,996$ . Це і є значенням граничної напруги зсуву (в кПа), що відповідає необхідному значенню граничної напруги зсуву контрольного зразка маршмеллоу на цукрі, якого ми прагнули. Таким чином, використовуючи отримані значення  $X$ , переходимо від кодованого значення до реальних:

$$X_1 = 38 + 5 \cdot (-0,206) = 38 - 1,032 = 36,97;$$

$$X_2 = 18 + 4 \cdot (-1,143) = 18 - 4,574 = 13,43;$$

$$X_3 = 38 + 10 \cdot (0,191) = 38 - 1,91 = 39,91.$$

Тому співвідношення  $X_1:X_2:X_3 = 36,97:13,43:39,91$ , тобто 1:0,36:1,08 лягло в основу розробки рецептури нового кондитерського виробу маршмеллоу дієтичного призначення.

Для більш повного дослідження якості одержаного результату можна застосовувати відомі аналітичні та графічні методи аналізу «поверхонь» регресії.

У результаті досліджень було розроблено технологічні інструкції, затверджено рецептуру й отримано патент на корисну модель на новий виріб.

На основі отриманої рецептури розраховано енергетичну цінність і згідно з методикою, розробленою в НУХТ [8], розраховано показник глікемічності нового виробу порівняно з виробом на цукрі (контролем). Отримані результати розрахунків представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Енергетична цінність і показник глікемічності маршмеллоу

Зразок	Енергетична цінність, ккал/г	Показник глікемічності, од.
На цукрі	302,58	49,28
На ізомальті та фруктозі	202,40	17,41

Таким чином, отриманий виріб має на 33,1% меншу енергетичну цінність і на 64,7% менший показник глікемічності, що дає можливість віднести його до виробів зниженої калорійності та редукованої глікемічності.

Маршмеллоу на ізомальті та фруктозі було представлено на міжнародній виставці «Sweet and bakery 2012», де в конкурсі «Солодкий тріумф 2012» виріб здобув нагороду «Гран-прі».

**Висновки.** Проведено оптимізацію рецептурного складу піноподібного кондитерського виробу маршмеллоу дієтичного призначення за допомогою нової методики з використанням трифакторного рототабельного центрального композиційного планування (ЦКП), результати якої лягли в основу розробки рецептури нового виробу. На основі отриманої рецептури було розраховано енергетичну цінність і показник глікемічності виробу.

## Список літератури

1. Дорохович А.М. Оптимізації технологічних процесів галузі (кондитерське виробництво): конспект лекцій для студ. спец. 7.091702 «Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів» / А.М. Дорохович, В.І. Оболкіна, О.О. Гавва. – К.: НУХТ, 2009. – 89 с.
2. Вироби кондитерські маршмелу: ТУ У 19492247.011. – 2001.
3. Яценко В.М. Розробка раціональних технологій нових кондитерських виробів на основі желатину: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.01 / В.М. Яценко; Національний університет харчових технологій. – К., 2002. – 209 с.
4. Дорохович А.Н. Маршмелу диетического и функционального назначения / А.Н. Дорохович, В.В. Бадрук // Продукты и ингредиенты. – 2012. – № 9. – С. 34-35.
5. Дорохович А.Н. Сахарозаменители нового поколения низкой калорийности и гликемичности / А.Н. Дорохович, В.В. Дорохович, Н.П. Лазоренко // Продукты и ингредиенты. – 2011. – № 6. – С. 46-48.
6. Дорохович В.В. Сахарозаменители нового поколения и их использование при производстве диабетических кондитерских изделий / В.В. Дорохович // Продукты и ингредиенты. – 2006. – № 4. – С. 18-20.
7. Полумбрик М.О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / М.О. Полумбрик. – К.: Академперіодика, 2011. – 487 с.
8. Пат. 40623 Україна, МПК А 23 L 1/10. Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту / А.М. Дорохович, В.М. Ковбаса, М.П. Гуліч, В.В. Дорохович, О.М. Яременко; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. – заявл 10.07.08; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.

УДК 664.68.667+664.696

Бодак М.П., Гирка О.І., кандидати техн. наук, в.о. доцентів (ЛКА, Львів)

### МОЖЛИВОСТІ ПОЛІПШЕННЯ ВІТАМІННОГО СКЛАДУ НОВИХ ВИРОБІВ

*У статті наведено результати розробки нових виробів і поліпшення їх вітамінного складу. Підтверджено доцільність використання природних збагачувачів із метою підвищення біологічної цінності готових виробів.*

**Ключові слова:** *вітаміни, сухі сніданки, круп'яні палички, пряники заварні, пряники з начинкою, рецептури, нетрадиційна сировина, біологічна цінність, рослинна сировина, біологічно активні добавки, рослинні олії.*

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими й практичними завданнями.** Наукові дослідження багатьох учених свідчать про те, що біологічна дія вітамінів проявляється за умови достатньої кількості білка в харчовому раціоні. В інших випадках ефективність дії вітамінів знижується. Наявна відповідна залежність між умістом жирів та інших складників, оскільки