

УДК 004.2

Сєдих О.Л., Маковецька С.В.

**ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ
РОЗРОБЦІ РЕЦЕПТУР ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

Національний університет харчових технологій,

Київ, Володимирська 68, 01601

UDC 004.2

Seidykh O.L., Makovetska S.V.

**INFORMATION TECHNOLOGY INSTRUMENT USAGE IN FUNCTIONAL
NUTRITION PRODUCTS` RESIPES DEVELOPMENT**

National University of Food Technologies,

Kyiv, Volodymyrska 68, 01601

Анотація. Дана стаття присвячена методиці розв'язання задач розроблення нових рецептур та вибору за заданими параметрами рецептури шляхом математичного моделювання. Наведені приклади рішення в електронній таблиці MS Excel та в пакеті MathCad. За допомогою MS Excel та пакета MathCad проведена розробка рецептурної композиції.

Ключові слова: математичне моделювання, рецептурні композиції, електронна таблиця, математичний пакет.

Abstract. This paper focuses on the problem solving methods and the methods of new recipe formulas development, and recipe selection under selected parameters through mathematical modeling. Recipe composition development is performed with MS Excel and MathCad package.

Keywords: mathematical modeling, recipe compositions, spreadsheet, mathematical package.

Особливу актуальність в даний час набуває вирішення рецептурних задач з використання інформаційних технологій, що дозволяє досягти раціональності

використання сировини при одночасному отриманні продукту с заданими характеристиками.

У роботах вітчизняних і зарубіжних вчених, що займаються питаннями моделювання продуктів харчування, відзначається, що досягнення рівня збалансованості складу харчових продуктів може бути досягнуто тільки за рахунок їх багатокомпонентності. Необхідність створення багатокомпонентних продуктів продиктована можливістю регулювання хімічного складу продуктів відповідно до сучасних вимог науки про харчування.

Основною задачею інженера-технолога є розроблення нових рецептур та вибір рецептури із наданих варіантів за заданими параметрами, а саме мінімальною собівартістю, високими якісними показниками, комплексним використанням складових частин інгредієнтів. Розвиток засобів інженерних та наукових розрахунків дає можливість фахівцю розв'язувати поставлені задачі без досконалого знання мов програмування, проте виникає необхідність досконалого володіння таким програмним продуктом, як система автоматизованих інженерних та економічних розрахунків.

Ключовими аспектами при створенні функціональних продуктів харчування є науково обґрунтований підбір фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів з необхідними санітарно-гігієнічними, медико-біологічними показниками, спрямованими лікувально-профілактичними властивостями, а також розробка нових технологічних рішень, що дозволяють істотно впливати не тільки на органолептичні фізико-хімічні показники сировини та готової продукції, підвищуючи їх харчову цінність, але й надавати їм спрямовані функціональні властивості. Варіюючи склад рецептурних сумішей, збагачуючи їх есенціальним нутрієнтами, можна домогтися певної спрямованості фізіологічного впливу. Перевагами автоматизованого проектування рецептур при створенні функціональних продуктів харчування є можливість регулювання їх хімічного складу шляхом зміни співвідношення окремих компонентів з урахуванням їхніх властивостей. Оптимальні рішення цих задач при проектуванні харчових продуктів можуть бути отримані за

допомогою їх формалізованих математичних описів – математичних моделей, що відображають в аналітичному вигляді безліч функціональних зв'язків між технологічними, економічними та іншими параметрами інгредієнтів сировини, необхідними характеристиками готових виробів (цільова функція) і рядом обмежень, які вимагає нормативна документація. Таким чином, математичне та імітаційне моделювання стає для технолога одним із необхідних інструментів розв'язання задач оптимізації комплексу властивостей харчового продукту – органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних – по встановленим критеріям і обмеженням на кожному етапі його розробки.

Поняття «проектування» продуктів включає в себе розробку моделей, що описують етапи створення продуктів заданої якості і представляють собою математичні залежності, що відображають всі зміни одного або декількох ключових параметрів, на основі яких вони розробляються, а також оптимізацію вибору та співвідношення вихідних компонентів, за якими можна отримати рецептуру, яка за кількісним вмістом та якісним складом максимально відповідає формулі збалансованого харчування та медико-біологічним вимогам, має високі споживчі властивості [3]. Одним із важливих завдань при проектуванні багатокомпонентних харчових систем є забезпечення оптимального набору та співвідношення рецептурних інгредієнтів при розробці нових видів функціональних продуктів харчування для різних категорій населення.

Серед різних моделей технологічних процесів особливе місце займають лінійні моделі, тобто моделі, де математичні залежності (рівності або нерівності) – лінійні відносно всіх змінних величин, що входять в модель. Сутність задач такого роду полягає в тому, щоб з набору можливих варіантів рецептур вибрати за заданим критерієм оптимальний варіант шляхом спрямованого варіювання кількісними співвідношеннями сировинних компонентів.

Рішення поставленої задачі здійснюється в кілька етапів: 1) формується інформаційний банк даних, який включає хімічний склад інгредієнтів; 2) на

основі інформаційного банку даних складаються балансові лінійні рівняння по хімічному складу кінцевого продукту (наприклад, за вмістом жиру, води, вуглеводів); 3) визначаються технологічні обмеження на використання окремих видів інгредієнтів (солі, спецій і т.д.) згідно нормативно-технічної документації; 4) вибирається критерій (функція мети) оптимізації енергетичної цінності продукту; 5) вирішується поставлене завдання в комп'ютерній математичній системі; 6) проводиться аналіз варіантів розроблених багатокомпонентних харчових продуктів з технологічної та економічної точок зору, і вибирають той варіант, який найбільш повно відповідає поставленій меті.

Розглянемо розробку рецептури медової пасти з максимальною біологічною цінністю та за вмістом макро- і мікроелементів та вітамінів: Na не менше 50 мг, K – не менше 500 мг, Ca – не менше 100 мг, Mg – не менше 100 мг, P – не менше 100 мг, Fe – не менше 20 мг, каротину – не менше 500 мг, B₁ – не менше 0,5 мг, B₂ – не менше 0,1 мг, C – не менше 1 мг. Можливий діапазон варіювання РІ в рецептурній композиції паст на основі меду за вмістом сухих речовин у кожному виді сировини (табл.1) [1] та біологічна цінність рецептурних інгредієнтів (табл.2) [1].

Таблиця 1

Рецептурні композиції паст на основі меду

Рецептурні інгредієнти	Можливий діапазон варіювання РІ, %	Вміст сухих речовин РІ, %
Ядро арахісу	0...25	92,1
Родзинки	0...10	82
Насіння гарбуза	0...25	95,5
Чорнослив	0...12	75
Курага	0...15	80
Мед бджолиний	50...90	82,6

Таблиця 2

Біологічна цінність рецептурних інгредієнтів медових паст

Перелік вітамінів, макро- та мікроелементів	Кількість вітамінів, макро- та мікроелементів, що входять до складу рецептурних інгредієнтів медових паст (мг/100 г)					
	Ядро арахісу	Родзинки	Насіння гарбуза	Чорнослив	Курага	Мед
Na	23,0	117	157	10	17	10
K	658	830	634	864	1717	36
Ca	76	83	360	80	160	14
Mg	182	42	311	102	106	3
P	350	129	520	83	146	18
Fe	5	3	60	3	32	0,8
Каротин	0	35	3	60	3500	0
B ₁	0,74	0,15	1,8	0,02	0,1	0,01
B ₂	0,11	0,06	0,2	0,1	0,2	0,03
C	5,3	1	2	3	4	0
Всього	1300,15	1239,21	2047	1205,12	5682,3	81,84

Необхідно знайти шукані значення $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, при яких

$$F(x) = \max\{1300,15x_1 + 1239,21x_2 + 2047x_3 + 1205,12x_4 + 5682,12x_5 + 81,84x_6\} \quad (1)$$

при дотриманні наступних умов:

1) вміст Na не менше 50

$$23x_1 + 117x_2 + 157x_3 + 10x_4 + 17x_5 + 10x_6 \geq 50; \quad (2)$$

2) вміст K не менше 500

$$658x_1 + 830x_2 + 634x_3 + 864x_4 + 1717x_5 + 36x_6 \geq 500; \quad (3)$$

3) вміст Ca не менше 100

$$76x_1 + 83x_2 + 360x_3 + 80x_4 + 160x_5 + 14x_6 \geq 100; \quad (4)$$

4) вміст Mg не менше 100

$$182x_1 + 42x_2 + 311x_3 + 102x_4 + 106x_5 + 3x_6 \geq 100; \quad (5)$$

5) вміст P не менше 100

$$350x_1 + 129x_2 + 520x_3 + 83x_4 + 146x_5 + 18x_6 \geq 100; \quad (6)$$

6) вміст Fe не менше 20

$$5x_1 + 3x_2 + 60x_3 + 3x_4 + 32x_5 + 0,8x_6 \geq 20; \quad (7)$$

7) вміст каротину не менше 500

$$35x_2 + 3x_3 + 60x_4 + 3500x_5 \geq 500; \quad (8)$$

8) вміст B₁ не менше 0,5

$$0,74x_1 + 0,15x_2 + 1,8x_3 + 0,02x_4 + 0,1x_5 + 0,01x_6 \geq 0,5; \quad (9)$$

9) вміст B₂ не менше 0,1

$$0,11x_1 + 0,06x_2 + 0,2x_3 + 0,1x_4 + 0,2x_5 + 0,03x_6 \geq 0,1; \quad (10)$$

10) вміст C не менше 1

$$5,3x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 4x_5 \geq 1; \quad (11)$$

11) наявність в рецептурі сухих речовин не менше 75%

$$92,1x_1 + 82x_2 + 95,5x_3 + 75x_4 + 80x_5 + 82x_6 \geq 0,75; \quad (12)$$

12) отримання одиниці продукту

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1; \quad (13)$$

13) Обмеження змінних по нижній границі:

$$x_1 \geq 0; \quad x_2 \geq 0; \quad x_3 \geq 0; \quad x_4 \geq 0; \quad x_5 \geq 0; \quad x_6 \geq 0,5 \quad (14)$$

14) Обмеження змінних по верхній границі:

$$x_1 \leq 0,25; \quad x_2 \leq 0,1; \quad x_3 \leq 0,25; \quad x_4 \leq 0,12; \quad x_5 \leq 0,15; \quad x_6 \leq 0,9 \quad (15)$$

Створюємо електронну таблицю в MS Excel (рис.1) відповідно математичної моделі (1) – (15).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Змінні									
2	Ім'я	Ядро арахіса	Родзинки	Насіння гарбуза	Чорнослив	Курага	Мед			
3	Вміст							ЦФ	напрям	
4	Енергет. цінність	1300,15	1239,21	2047	1205,12	5682,3	81,84	0	max	
5										
6	Вид									
7	Na	23	117	157	10	17	10	0	≥	50
8	K	658	830	634	864	1717	36	0	≥	500
9	Ca	76	83	360	80	160	14	0	≥	100
10	Mg	182	42	311	102	106	3	0	≥	100
11	P	350	129	520	83	146	18	0	≥	100
12	Fe	5	3	60	3	32	0,8	0	≥	20
13	Каротин	0	35	3	60	3500	0	0	≥	500
14	B1	0,74	0,15	1,8	0,02	0,1	0,01	0	≥	0,5
15	B2	0,11	0,06	0,2	0,1	0,2	0,03	0	≥	0,1
16	C	5,3	1	2	3	4	0	0	≥	1
17	Сухі речовини	92,1	82	95,5	75	80	82,6	0	≥	0,75
18	Отримання одиниці продукту	1	1	1	1	1	1	0	=	1

Рис. 1. Розрахункова форма задачі

Для визначення оптимального складу компонентів було використано вбудований засіб Excel «Поиск решения» [2]. Вікно «Поиск решения» з вказаною цільовою функцією та обмеженнями

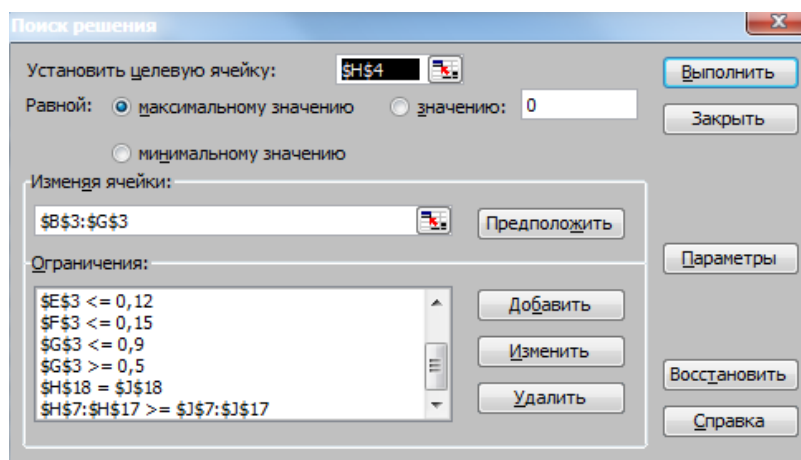


Рис. 2. Діалогове вікно «Поиск решения»

Результати обчислення розрахунку сировини представлені на рис.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Змінні									
2	Ім'я	Ядро арахіса	Родзинки	Насіння гарбуза	Чорнослив	Курага	Мед			
3	Вміст	0,090426	0,009574	0,25	0	0,15	0,5	ЦФ	напрям	
4	Енергет. цінність	1300,15	1239,21	2047	1205,12	5682,3	81,84	1534,447	max	
5										
6	Вид									
7	Na	23	117	157	10	17	10	50	≥	50
8	K	658	830	634	864	1717	36	501,4968	≥	500
9	Ca	76	83	360	80	160	14	128,667	≥	100
10	Mg	182	42	311	102	106	3	112,0096	≥	100
11	P	350	129	520	83	146	18	193,784	≥	100
12	Fe	5	3	60	3	32	0,8	20,68085	≥	20
13	Каротин	0	35	3	60	3500	0	526,0851	≥	500
14	B1	0,74	0,15	1,8	0,02	0,1	0,01	0,538351	≥	0,5
15	B2	0,11	0,06	0,2	0,1	0,2	0,03	0,105521	≥	0,1
16	C	5,3	1	2	3	4	0	1,58883	≥	1
17	Сухі речовини	92,1	82	95,5	75	80	82,6	86,2883	≥	0,75
18	Отримання одиниці продукту	1	1	1	1	1	1	1	=	1

Рис. 3. Шуканий оптимальний план рішення задачі

Результати розрахунку інструменту MS Excel «Поиск решения...»:

$$x_1 = 0,0904; x_2 = 0,0096; x_3 = 0,25; x_4 = 0; x_5 = 0,15; x_6 = 0,5.$$

Для отримання медової пасти з максимальною харчовою цінністю необхідно в її склад включити 9,04% арахісу, 0,96% родзинок, 25% насіння гарбуза, 15% кураги та 50% меду. При цьому максимальна харчова цінність складає 1534,4. Таким чином, використання вбудованого інструменту MS Excel «Поиск решения...» дозволяє вирішувати деякі задачі оптимізації рецептурного складу.

Розв'язування задачі в середовищі MathCad (рис.4):

$$\begin{aligned}
 &\text{ORIGIN} := 1 \\
 &n := 6 \qquad m := 10 \\
 &i := 1..n \qquad j := 1..m \\
 &x := (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T \\
 &c := (1300.15 \ 1239.21 \ 2047 \ 1205.12 \ 5682.12 \ 81.84)^T \\
 &F(x) := \sum_{i=1}^n (c_i \cdot x_i) \\
 &A := \begin{pmatrix} 23 & 117 & 157 & 10 & 17 & 10 \\ 658 & 830 & 634 & 864 & 1717 & 36 \\ 76 & 83 & 360 & 80 & 160 & 14 \\ 182 & 42 & 311 & 102 & 106 & 3 \\ 350 & 129 & 520 & 83 & 146 & 18 \\ 5 & 3 & 60 & 3 & 32 & 0.8 \\ 0 & 35 & 3 & 60 & 3500 & 0 \\ 0.74 & 0.15 & 1.8 & 0.02 & 0.1 & 0.01 \\ 0.11 & 0.06 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.03 \\ 5.3 & 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix} \qquad B := \begin{pmatrix} 50 \\ 500 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 20 \\ 500 \\ 0.5 \\ 0.1 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 &\text{Given} \\
 &A \cdot x \geq B \\
 &\sum_{i=1}^n x_i = 1 \\
 &0 \leq x_1 \leq 0.25 \qquad 0 \leq x_2 \leq 0.1 \qquad 0 \leq x_3 \leq 0.25 \\
 &0 \leq x_4 \leq 0.12 \qquad 0 \leq x_5 \leq 0.15 \qquad 0.5 \leq x_6 \leq 0.9 \\
 &P := \text{Maximize}(F, x) \\
 &P = \begin{pmatrix} 0.0904 \\ 0.0096 \\ 0.25 \\ 0 \\ 0.15 \\ 0.5 \end{pmatrix} \qquad F(P) = 1534.4195
 \end{aligned}$$

Рис. 4. Рішення задачі в пакеті MathCad

Як бачимо, результати розв'язку як в MS Excel, так і в математичному пакеті MathCad повністю співпали.

На думку авторів, саме розширення можливостей оптимізаційних програмних засобів дозволить вийти на якісно новий рівень в розробці нових видів харчових продуктів із заданим хімічним складом, споживчими і

технологічними характеристиками. Проектування харчових продуктів оптимального складу методами математичного моделювання дозволить знизити фінансові та часові витрати на розробку продуктів харчування, своєчасно реагувати на зміну потреб людського організму в умовах техногенного суспільства, розширити асортимент продукції функціонального та лікувально-профілактичного призначення, які спрямовані на харчування окремих груп населення.

Висновок: методика моделювання багатокomпонентних продуктів дозволяє цільоспрямовано і оперативно розробляти рецептури із заданими властивостями. Дана розробка може бути використана у вищих учбових закладах при підготовці бакалаврів, магістрів і аспірантів в наукових дослідженнях, а також у виробничій діяльності інженера-технолога при розробці та вдосконаленню рецептур продуктів. Розроблений підхід можна застосовувати при моделюванні харчових продуктів нового покоління і представляє методологічний базис для пошуку нових перспективних та ефективних технологічних рішень в харчовій галузі.

Література

1. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. Скурихина И.М., Волгарева М.Н. - 2 изд. - М.: Агропромиздат, 1987. - 360 с.
2. Экономические расчеты и бизнес-моделирование в Excel / Пикуза В. , - Питер: 2012. - 400 с.
3. Технологические расчеты при производстве кондитерских изделий / Олейникова А. Я., Магомедов Г. О., Плотникова И. В., - СПб. : Издательство РПП, 2008. - 240 с.

Стаття відправлена: 30.01.2014р.

© Седих О.Л., Маковецька С.В.