

# MODELING BISCUIT RECIPE WITH TARGET INDICATORS OF QUALITY

G. Dykareva, A. Gasanova, O. D'yakov

Kharkov State University of Food Technology and Trade

---

**Key words:**

A biscuit with elamin and steviozide  
Quality indicators  
Mathematical methods of modeling  
Optimum recipe

---

**ABSTRACT**

In this article We have considered the issues of biscuit recipe modeling for cookies, enriched with iodine due to elamin and with the reduced amount of the sugar replaced by a natural sweetener steviozide with the target indicators of quality for a ready-made product. Furthermore, the rational meanings of the biscuit recipe (there have been regarded such factors of variation as steviozide, sugar, flour and starch) on the basis of the mathematical modeling method are determined.

The criteria of optimization are: organoleptical assessment, a part of moisture mass, viscosity, a part of sugar mass (calculating method).

The target method of mathematical modeling allows us to receive the optimum concentration of flour, starch, sugar and steviozide for providing high organoleptical, physical, chemical, structural and mechanical quality indicators of a biscuit with elamin and steviozide. The received data has been checked carrying out additional experiments which have proved their optimum.

---

---

**Article history:**

Received 15.09.2013

Received in revised  
form 5.12.2013

Accepted 11.12.2013

---

**Corresponding author:**

Vanilla0688@rambler.ru

# МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРИ БІСКВІТА ІЗ ЗАДАНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ

Г.І. Дюкарева, А.Е. Гасанова, О.Г. Дьяков

Харківський державний університет харчування та торгівлі

*Розглянуто питання моделювання рецептури бісквіта, збагаченого йодом завдяки еламіну та зі зменшеною кількістю цукру, заміненого природнім підсолоджувачем — стевіозидом, із заданими показниками якості готового продукту. Застосований метод математичного моделювання дозволив одержати оптимальні концентрації борошна, крохмалю, цукру та стевіозиду в рецептурі бісквіта.*

**Ключові слова:** бісквіт з еламіном та стевіозидом, показники якості, математичні методи моделювання, оптимальна рецептура.

**Вступ.** Виробництво бісквіта та виробів із нього, які займають особливе місце серед борошняних кондитерських виробів, останніми роками демонструє динаміку зростання та розвитку. Підвищення якості бісквіта функціонального призначення є невід'ємною складовою цього розвитку та актуальною проблемою сьогодення. Підвищення якості бісквітів здійснювали використанням мікробного полісахариду ксампану та поліміксану [1], безглютенових видів борошна [2], ламінарії, карагану [3] та ін. Нами було запропоновано використання еламіну

та стевіозиду, що дозволило б підвищити якість виробів завдяки збагаченню їх йодом з еламіну та заміною значної кількості цукру на природній підсолоджувач зі стевії — стевіозид. Кількість та співвідношення інгредієнтів рецептури значно впливають на показники якості та споживні характеристики готових виробів. Із погляду на це доцільно проводити визначення раціональних значень рецептури бісквітів на основі сучасних методів дослідження до яких у першу чергу відносяться методи математичного моделювання [4]. Проте, беручи до уваги складність взаємозв'язків між вхідними та вихідними змінними готового продукту, що не дає повною мірою використати основні фізико-хімічні закони, та певну невизначеність параметрів сировини, що буде перероблятися, математичну модель розробки рецептури доцільно будувати на основі регресійних співвідношень. Використання даної моделі дає можливість знайти співвідношення між вхідними та вихідними змінними продукту, що розробляється, які в середньому правильно відтворюють ці залежності. Крім того, за рахунок використання сучасної теорії планування експерименту, що полягає в проведенні цілеспрямованих дослідів, можна зменшити кількість експериментів [5].

Загальне вирішення цієї проблеми, зменшення кількості експериментів, складається з трьох етапів. На першому етапі шляхом проведення цілеспрямованих експериментів знаходять об'єктивні залежності між компонентами рецептури готового продукту й тими значеннями, що являють собою показники якості. Визначення цих залежностей дає можливість отримати математичну модель процесу. Отримана модель дає перше уявлення щодо наявності зв'язків між вхідними (рецептура) та вихідними (показники якості) параметрами бісквіта з еламіном та стевіозидом.

На другому етапі досліджень шляхом використання методів багатокритеріальної оптимізації на основі здобутої математичної моделі знаходять значення рецептури майбутнього продукту, які дозволяють максимально наблизитись до бажаних значень показників якості.

На останньому етапі остаточно перевіряють знайдені параметри рецептури на відповідність установленим показникам якості й за необхідності проводять корегування. Це необхідно для уточнення показників органолептичного спрямування, тому що можливі деякі відхилення остаточних показників якості порівняно з початковими вимогами.

**Метою досліджень** є моделювання рецептури бісквіта з еламіном та стевіозидом із заданими показниками якості за допомогою побудови математичної моделі та знаходження відповідних аналітичних залежностей між вхідними та вихідними показниками готового продукту.

**Методика досліджень.** Із погляду на попередні дослідження, у яких авторами визначалась раціональна кількість вхідних компонентів, та, спираючись на наші дослідження, було вирішено як, фактори варіювання та їх дозування обрати:  $x_1$  — стевіозид 0,09...0,18 %,  $x_2$  — цукор 0...27 %,  $x_3$  — борошно 16...22 %,  $x_4$  — крохмаль 2,5...5 %. Ці дані були відібрані на основі методу експертного аналізу відомих (діючих) рецептур, аналізу певних літературних джерел та органолептичних показників. Також на основі аналізу показників якості бісквіта було відібрано показники, що дають найбільше уявлення щодо готової продукції, яку б ми хотіли отримати. Як параметри оптимізації було взято такі величини:  $y_1$  — органолептична оцінка,  $y_4$  — масова частка вологи, які нормуються вимогами РСТ УССР 1466-90 «Бисквиты. Технические условия»;  $y_2$  — в'язкість (було обрано тому, що, у першу чергу, на нашу думку, вхідні компоненти будуть впливати саме на в'язкість тіста),  $y_3$  — масова частка цукру (розрахункова), яка надає переваги зразкам зі зниженою його кількістю (обрано саме тому, що завданням наших досліджень є формування якості бісквіта зі зниженою кількістю цукру). Попередніми дослідженнями встановлено раціональну концентрацію еламіну 0,8 %, яку буде незмінно внесено в усі зразки.

Для опису залежностей між вихідними змінними та вхідними параметрами було обрано квадратичну модель виду:

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

де  $a_{i,j}$  — коефіцієнти математичної моделі;  $i = 1...4$  означає відношення до конкретних показників якості готового продукту.

Використання моделі виду (1) дає можливість знайти, у певному розумінні, найкращі сполучення щодо показників якості.

Для визначення коефіцієнтів моделі шляхом проведення повного факторного експерименту необхідно побудувати таблицю, яка складається з 49 дослідів. У цій таблиці відтворюються всі можливі сполучення між вхідними змінними, а також можуть додаватися й інші точки, які мають певний науковий інтерес. Із метою зменшення кількості дослідів як план експерименту було обрано D-оптимальний насичений план який складається з 15 дослідів. Він не передбачає перевірку всіх комбінацій вхідних величин, як план повного факторного експерименту, але за точністю відтворення математичної моделі наближається до нього. Таблиця плану експерименту має такий вигляд:

**Таблиця плану експерименту**

Фактор варіювання	Номер досліду														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_1$	-1	1	1	1	1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	0
$X_2$	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0	1	-1	1	-1	1	0
$X_3$	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	1	1	0
$X_4$	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0

Як вхідні змінні в таблиці використовуються кодовані значення, які знаходяться з виразу:

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

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

За допомогою перетворення (2) діапазон вхідних змінних дорівнює  $(-1; 1)$  і дає можливість швидко попередньо оцінити коефіцієнти математичної моделі.

Після визначення таблиці експерименту на її основі створюється матриця експерименту  $F$ , яка враховує обраний вид математичної моделі. У кожній точці експерименту проводилось не менше двох вимірювань із метою зменшення впливу похибок вимірювання. Для подальшого обчислення коефіцієнтів моделі брали середнє значення проведених вимірювань.

Визначення коефіцієнтів моделі проводилося за формулою:

$$a = (F^T F)^{-1} F^T Y, \quad (3)$$

де  $Y$  — матриця даних експерименту.

Таким чином для даного процесу виготовлення бісквіта було отримано чотири моделі виду (1) для кожного показника якості готового продукту. Кожний показник якості готового продукту може бути описаний відповідними співвідношеннями, де як змінні використовуються вхідні параметри рецептури.

Проведемо попередній аналіз процесу виробництва на основі здобутої моделі. Завданням аналізу є визначення вхідних сукупностей рецептури, за яких можливе досягнення заданого значення показників якості.

Знайдемо для кожної вихідної величини таку сукупність вхідних параметрів, які забезпечують задане її значення. Знаходження такої сукупності буде проведено на основі знайденої моделі (1). Критерієм знаходження сукупності вхідних змінних  $x_i$  буде наступне рівняння:

$$x_i = (y_i - q_i)^2 \rightarrow \min, \quad x_i \in x_{\partial} \quad (4)$$

де  $y_i$  — значення  $i$ -ї вихідної величини;  $x_{\partial}$  — дозволений діапазон зміни вхідних величин;  $q_i$  — бажане значення показників якості.

Бажаними значеннями показників якості бісквітів нами були обрані наступні:  $y_1$  — 28,5 б,  $y_2$  — 1,56 Па·с,  $y_3$  — 25 г,  $y_4$  — 26 %. Показник якості  $y_1$ , що характеризує органолептичну оцінку, для зручності, був виражений у балах.

Попередній аналіз експериментальних даних за формулою (4) показав, що немає загальної області, у якій можна буде задовольнити значення показників якості готового продукту. Перевірка визначення сукупностей вхідних величин, що забезпечують максимальне значення вихідних показників готового продукту, здійснювалася програмою Maximize пакета MathCAD [6]. Треба шукати відповідний компроміс між цими областями для прийняття рішення щодо обраних значень рецептури.

Після знаходження аналітичних залежностей між показниками якості та вхідними параметрами процесу необхідно за заданими показниками знайти відповідні сполучення параметрів процесу виробництва, які б давали можливість найбільшого наближення до заданих показників якості.

Одним із сучасних методів, який використовується для рішення цієї задачі є метод багатокритеріальної оптимізації [7;8]. Вибір виду найкращого критерію зумовлений особливостями виготовлення бісквіта. У більшості випадків використовують критерій найменших квадратів, який забезпечує найкраще наближення до заданих величин. Тому було обрано наступний критерій, який має вигляд:

$$q = k_i (y_i - y_{is})^2, \quad (5)$$

де  $y_i$  — показник якості, значення якого визначається за результатами обчислення математичної моделі;  $y_{is}$  — заданий показник якості відповідного параметра;  $k_i$  — коефіцієнти вагомості які дозволяють досліднику виділяти окремі показники серед загальної кількості всіх показників якості.

Обраний критерій (5) має широке використання, тому що він дає можливість наблизитись до заданого значення без урахування можливих великих відхилень від певних значень на малому інтервалі коливань.

Проте проведений попередній аналіз результатів математичного моделювання показав, що найкращі значення, які відповідають критеріям якості, не відповідають єдиному сполученню вхідних параметрів процесу виробництва. Тому необхідно «згорнути» ці критерії в один комплексний, який дозволять максимально наблизитись до заданих значень.

Щодо загальної постановки завдання до даного процесу виготовлення бісквітів, то вона має наступне формулювання: необхідно одночасно мінімізувати чотири критерії показників якості готової продукції з урахуванням критерію (5), який забезпечить мінімальне відхилення від заданих показників:

$$q_i(X) \rightarrow \min, \quad i = 1, K, 4, \quad X \in \Omega \quad (6)$$

де  $q(X)$  — загальний критерій якості;  $\Omega$  — множина дозволених рішень щодо використання критеріїв.

Під множиною дозволених рішень розуміють усі можливі сполучення вхідних показників, які можуть бути реалізовані під час створення нової рецептури. Вибір загального

критерію якості зумовлений загальними вимогами до готового продукту. Аналіз здобутих даних показав, що всі вихідні дані мають різний порядок і тому необхідно привести їх до відносних значень одного порядку. Як критерій наближення, що дозволяє «згорнути» усі чотири критерії до одного, буде обрано критерій, який відповідає вимогам методу найменших квадратів і має наступний вираз:

$$Q(X) = \sum_{i=1}^4 ([Q_i(X) - q_i] / q_i)^2 \cdot k_i, \quad (7)$$

де  $Q_i(X)$  — значення  $i$ -го показника, що обчислюється за математичною моделлю;  $q_i$  — необхідне значення показника якості щодо вимог до даного готового продукту.

Вагові коефіцієнти  $k_i$  дозволяють більш точно наблизити окремі показники якості готового продукту до наперед заданих значень. Вони також дають можливість урахувати окремі вимоги, що можуть висуватися до показників готового продукту та оперативно змінюватися.

Остаточно формула, за якою будуть визначатися параметри технологічного процесу, має вигляд:

$$c = \text{Min}(Q, X), \quad (8)$$

де  $c$  — значення вектора параметрів технологічного процесу, які забезпечують виконання (8);  $X$  — вектор вхідних змінних процесу, що визначає рецептуру.

Для знаходження рецептурного складу  $X$  використовується стандартна програма Minimize пакета MathCAD.

**Результати досліджень.** Знайдені шляхом математичного моделювання значення параметрів рецептури бісквіта:  $x_1 = 0,13$  г;  $x_2 = 16,4$  г;  $x_3 = 21,07$  г;  $x_4 = 4,22$  г. Здобуті значення були перевірені під час проведення додаткових експериментів, які дали можливість упевнитись в їх оптимальності. Вони були остаточно підтверджені та є рекомендованими значеннями для даного виробництва бісквіта, який отримав назву «Здоров'я» та пройшов апробацію в ресторані «Julien Francois» (м. Париж).

**Висновки.** Таким чином встановлено, що для забезпечення високих органолептичних, фізико-хімічних та структурно-механічних показників якості бісквіта з еламіном та стевіозидом, із розрахунку на 100 г сировини, раціональним є використання борошна пшеничного вищого ґатунку — 24,54 %; меланжу — 53 %; стевіозиду — 0,16 %; цукру — 16 %; крохмалю — 5 %; еламіну — 0,8 %; солі — 0,5 %.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Авілочева І.В.* Нове в технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів / І.В. Авілочева, О.В. Самохвалова // Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, — Х.: ХДУХТ. — 2011. — С. 63.
2. *Бистріка І.В.* Вплив крохмалю на якість безглютенових бісквітних напівфабрикатів / І.В. Бистріка, К.Г. Іоргачова // Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, — Х.: ХДУХТ. — 2011. — С. 64.
3. *Технологія функціонального призначення йододефіциту: монографія* / /А.А. Мазаракі, М.І. Пересічний, М.Ф. Кравченко, П.О. Карпенко, С.М. Пересічна та ін.; За ред. д-ра техн. наук, проф. М.І. Пересічного. — 2-ге вид., переробл. та допов. — К.: КНТЕУ, 2012. — 1116 с.
4. *Методы и организация экспериментов* / Под ред. проф. К.П. Власова. — Х.: Гуманитарный центр, 2002. — 256 с.
5. *Дрейпер Н.* Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. — М.: Вильямс, 2007. — 912 с.
6. *Льяконов В.П.* Mathcad 11/12/13 в математике: справочник В.П. Льяконов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 928 с.

7. Расстригин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Расстригин. — М.: Сов. Радио, 1980. — 232 с.

8. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с английского / Р. Штойер. “ М.: Радио и связь, 1992 — 504 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ БИСКВИТА С ЗАДАНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА

Г.И. Дюкарева, А.Э. Гасанова, А.Г. Дьяков

Харьковский государственный университет питания и торговли

*Рассмотрены вопросы моделирования рецептуры бисквита, обогащенного йодом благодаря эламину и с уменьшенным количеством сахара, замененного природным подсластителем – стевиозидом, с заданными показателями качества готового продукта. Примененный метод математического моделирования позволил получить оптимальные концентрации муки, крахмала, сахара и стевиозида в рецептуре бисквита.*

**Ключевые слова:** бисквит с эламином и стевиозидом, показатели качества, математические методы моделирования, оптимальная рецептура.