

УДК 664.87

**OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF MANUFACTURING
FORMATED POTATOES CHIPS
МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
ФОРМОВАНИХ КАРТОПЛЯНИХ ЧІПСІВ**

Kovtun A.V. / Ковтун А.В.

postgraduate / аспірант

Kovbasa V.M. / Ковбаса В.М.

doctor of technical sciences, professor / доктор технічних наук, професор

Seidykh O.L. / Сєдих О.Л.

senior lecturer / старший викладач

ORCID: 0000-0003-4590-2019

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska 68, 01601

Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська 68, 01601

АНОТАЦІЯ. У статті використано метод повного факторного експерименту для розроблення регресійних моделей оптимальних параметрів виробництва формованих картопляних чіпсів з додаванням висівків жита (ВЖ), висівків ячменя (ВЯ), жмиху гарбузового насіння (ЖГН), кріопорошків броколі (КБ) та червоного буряка (КЧБ) і без них. Встановлено адекватність отриманих рівнянь регресії, що в повній мірі описують поверхню відгуку. На основі проведених результатів досліджень із застосуванням математичного пакету MathCAD визначено оптимальні параметри структурно-механічних показників картопляного тіста та органолептичних показників готових формованих картопляних чіпсів. Отримані результати стали підґрунтям для моделювання й оптимізації процесу виробництва ФКЧ з метою його впровадження в технологічному процесі на виробництві.

Ключові слова: чіпси, картопляна крупка, висівки, жмих гарбузового насіння, кріопорошки, рівняння регресії, оптимізація.

Вступ. На сьогоднішній день актуальним є питання розроблення харчових продуктів (ХП) із заданими функціональними властивостями, що зберігають і поліпшують стан здоров'я населення та знижують ризик захворювання пов'язаних з харчуванням. Здорове харчування забезпечується наявністю широкого спектру відповідних ХП. Вони повинні містити в достатній кількості білки, жири, вуглеводи, мікро-та макроелементи, які виявляють специфічну фізіологічну активність, підвищують сенсорні та поживні властивості ХП.

Основний матеріал. Останнім часом на полицях магазинів з'являється все більша кількість продуктів швидкого харчування, зокрема, формованих картопляних чіпсів (ФКЧ), які є улюбленим перекусом дітей шкільного віку та молоді. Відомими торгівельними марками на ринку України є чіпси «Золотисті», «KartoFan», «Crispi», «Hrusters», які мають велику кількість смаків і поряд з цим високу енергетичну цінність.

На сьогодні науковцями досліджено, що ФКЧ є енергоперенавантажені, оскільки містять в своєму складі: борошно, картопляну крупку, крохмаль, спеції та обсмажуються в великій кількості фритюру. Тому щоденне споживання цього продукту може погіршити стан здоров'я людини та спровокувати шлунково-кишкові, серцево-судинні захворювання, а також викликати ожиріння.

Сьогодні до переліку інгредієнтів, що використовуються для створення продуктів із заданими властивостями відносяться харчові волокна (ХВ). Роль ХВ в харчуванні різноманітна, вона полягає в частковому забезпеченні організму людини енергією, виведенні з нього деяких метаболітів їжі, регулюванні фізіологічних та біохімічних процесів в органах травлення. Велика кількість ХВ міститься в злакових культурах, фруктах, овочах. Відомо, що добова потреба ХВ становить 25-40г, але денний раціон харчування людини у ХВ нижчий оптимуму, тому важливим є розроблення рецептури ФКЧ з підвищеною харчовою цінністю та зниженою енергетичною цінністю [1].

Метою дослідження є вивчення структурно-механічних та органолептичних показників ФКЧ з частковою заміною картопляної крупки та повною заміною крохмалю висівками жита (ВЖ), ячменя (ВЯ), жмихом гарбузового насіння (ЖГН), кріопорошками броколі (КБ) та червоного буряка (КЧБ) у співвідношенні (4:1). Це дає можливість покращити органолептичні, структурно-механічні властивості, підвищити харчову цінність готового продукту, оскільки формовані картопляні чіпси будуть випікатися-висушуватися без фритюрного жиру [2].

В роботі використовували картопляну крупку (КК) виробництва Vikrampur Potato Flakes Ind.Ltd Dhanmondi 120 Dhala «Bangladesch», висівки та жмих виробник «Агросільпром», КБ та КЧБ виробник «Гамми».

До рецептурного складу ФКЧ входить наступна сировина: КК, висівки, жмих чи кріопорошки, сіль, вода у співвідношенні (4:1), а технологія їх виробництва має наступні стадії: змішування, формування та випікання-висушування. Часткова заміна картопляної крупки та повна заміна крохмалю на рослинну сировину покращить структурно-механічні та органолептичні показники, а також харчову цінність готових виробів.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- побудувати математичну модель, що буде відтворювати залежності між змінними, що досліджуються, структурно-механічними і органолептичними показниками виробів;

- визначення фракційного складу картопляної крупки, висівок, жмиху та кріопорошків, кількості доданої води та температури випікання-висушування, що забезпечує максимальне наближення значення структурно-механічного показника продукту до бажаних значень;

- знаходження кількості дозування картопляної крупки, висівок, жмиху, кріопорошків, температури та часу випікання-висушування, що безпосередньо впливає на органолептичні показники продукту.

Попередньо нами була проведена оптимізація для ВЖ, ВЯ, ЖГН з розмірами крупинок 250-810 мкм, температурний режим випікання-висушування підтримували в діапазоні 100-160°C, а кількість води для приготування прийнятної консистенції напівфабрикату від 2,10-2,65 мл. на 1г сухої суміші. Оскільки досліджувані фактори не забезпечили у повній мірі задовільні структурно-механічні та органолептичні показники нами було проведено додаткове подрібнення висівок, жмиху та КК з наступним просіюванням на лазерному гранулометрі до розміру співрозмірного з кріопорошками. Отримані результати стали підґрунтям для моделювання й

оптимізації процесу виробництва ФКЧ з метою його впровадження в технологічному процесі на виробництві [3].

Для розроблення рівняння регресії, за допомогою якого є можливість оцінити якість картопляного напівфабрикату за структурно-механічними показниками (Y), використали метод повного факторного експерименту ПФЕ=2³.

Рівняння регресії оцінки структурно-механічних показників буде мати вигляд:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3 \quad (1)$$

Для розроблення рівняння регресії було взято рівні та інтервал варіювання, значення яких наведено у в табл. 1.

Таблиця 1

Значення рівнів факторів та інтервали варіювання

Досліджувані фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	нижній	верхній	нульовий	
X ₁ – ступінь подрібнення висівок, мкм	30	80	55	25
X ₂ – температура випікання-висушування, °С	100	140	120	20
X ₃ – кількість доданої води, мл	2,10	2,80	2,45	0,35

Також нами було складено розширену матрицю планування повного факторного експерименту.

Таблиця 2

Розширена матриця планування повного факторного експерименту 2³

№ досліджу	Рівні факторів у кодованому вигляді			Рівні факторів у натуральному вигляді			Y _{ср}	Повторності
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃		
1	-1	-1	-1	30	100	2,10	4,3	4,5; 4,0; 4,3
2	+1	-1	-1	80	100	2,10	4,4	4,2; 4,4; 4,5
3	-1	+1	-1	30	140	2,10	5,2	5,0; 5,0; 5,5
4	+1	+1	-1	80	140	2,10	5,5	5,5; 5,4; 5,7
5	-1	-1	+1	30	100	2,80	4,4	4,4; 4,5; 4,4
6	+1	-1	+1	80	100	2,80	4,9	5,0; 4,8; 5,0
7	-1	+1	+1	30	140	2,80	4,2	4,0; 4,0; 4,6

8	+1	+1	+1	80	140	2,80	4,2	4,4;4,0; 4,1
---	----	----	----	----	-----	------	-----	--------------

Значущість коефіцієнтів регресії перевіряли провівши паралельні досліди для визначення дисперсії відтворюваності. Тому в кожній точці факторного простору проводилася серія із трьох дослідів.

При перевірці однорідності дисперсій за критерієм Кохрена було отримано розрахункове значення коефіцієнта Кохрена 0.321, а табличне значення цього коефіцієнта – 0.5157 для прийнятого рівня значущості $\alpha = 5\%$. Це означає, що є можливість проводити подальший розрахунок коефіцієнтів.

Оскільки матриця повного факторного експерименту є діагональною матрицею, то коефіцієнти регресії некорельовані між собою. Тому є можливість перевіряти значимість кожного коефіцієнта за критерієм Стюдента, при цьому виключення з рівняння регресії (1) незначного коефіцієнта не позначиться на інших коефіцієнтах. Величини коефіцієнтів рівняння регресії характеризують внесок кожного фактора в величину Y .

Розрахувавши коефіцієнти, отримали наступне рівняння регресії:

$$Y = 4.633 + 0.117 X_1 + 0.133 X_2 - 0.2 X_3 - 0.033 X_1 X_2 + 0 \cdot X_1 X_3 - 0.383 X_2 X_3 - 0.1 X_1 X_2 X_3 \quad (2)$$

Знайдені коефіцієнти рівняння регресії оцінювали на статистичну значимість. Оцінка проводилася за критерієм Стюдента. Розрахункові значення коефіцієнта Стюдента (t_k) для кожного коефіцієнта рівняння регресії надані в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
t_k	105.074	2.646	3.024	4.536	0.756	0	8.693	2.268

Табличне значення коефіцієнта Стюдента дорівнює 2.12 при рівні статистичної значущості $\alpha = 5\%$ і числі степенів свободи 16. Згідно даних табл. 3 рівняння регресії у відповідності значимості коефіцієнтів за критерієм Стюдента буде мати вигляд:

$$Y = 4.633 + 0.117 X_1 + 0.133 X_2 - 0.2 X_3 - 0.383 X_2 X_3 - 0.1 X_1 X_2 X_3 \quad (3)$$

Отримане рівняння регресії було перевірено на адекватність досліджуваного об'єкта, тобто спроможність його в достатній мірі описувати поверхню відгуку (Y). Адекватність моделі перевіряли за критерієм Фішера:

Розрахункове значення критерію Фішера $F_p=0,286$ для рівняння регресії (3), а табличне $F_{tab}=2,4$ при рівні значущості $\alpha=5\%$ і числі ступенів свободи 16. Отже, рівняння регресії (3), адекватне досліджуваному об'єкту.

Рівняння регресії буде мати вигляд:

- у кодованій формі:

$$Y = 4.633 + 0.117 X_1 + 0.133 X_2 - 0.2 X_3 - 0.383 X_2 X_3 - 0.1 X_1 X_2 X_3 \quad (4)$$

- у натуральній формі:

$$Y = -0.548 + 0.11 X_1 + 0.051 X_2 + 1.551 X_3 - 0.044 X_1 X_3 - 0.17 X_2 X_3 + 0.0004 X_1 X_2 X_3 \quad (5)$$

Графічне зображення рівняння (5) у вигляді поверхні відгуку і ліній рівня при фіксованому значенні ступені подрібнення висівок $X_1=55$ мкм представлено на рисунку 1.

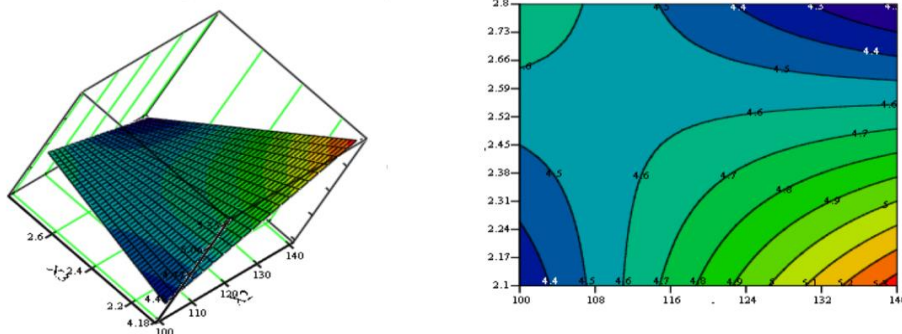


Рис.1 Графічне зображення рівняння у вигляді поверхні відгуку

Були визначені оптимальні параметри структурно-механічних показників картопляних напівфабрикатів: міцність $Y=4,683$ досягається при сталому ступені подрібнення висівок (жмиху) $X_1=55$ мкм, температурі випікання-висушування $X_2=138^0 - 140^0$ і кількості доданої води $X_3 = 2,10 - 2,14$ мл, на 1 г суміші.

Обрахунки проводилися у середовищі математичного пакету MathCAD.

На основі оптимізації структурно-механічних показників картопляного напівфабрикату було проведено також моделювання і оптимізацію готового

продукту за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, смак, запах, консистенція). Як і в попередньому дослідженні для розроблення рівняння регресії було взято три фактори, що впливають на органолептичні показники чіпсів. Значення обраних рівнів факторів варіювання та розширена матриця планування повного факторного експерименту у табл. 4, 5.

Таблиця 4

Значення рівнів факторів та інтервал варіювання

Досліджувані фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	нижній	верхній	нульовий	
X ₁ – кількість дозування сировини, г	12	50	31	19
X ₂ – температура випікання-висушування, °С	100	140	120	20
X ₃ – час випікання-висушування, хв	4,0	4,5	4,25	0,25

Таблиця 5

Розширена матриця планування повного факторного експерименту 2³

№ досліджу	Рівні факторів у кодованому вигляді			Рівні факторів у натуральному вигляді			Y _{ср}	Повторності
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃		
1	-1	-1	-1	3,0	3,2	3,1	3,1	3; 3,2; 3,1
2	+1	-1	-1	3,0	3,3	3,3	3,2	3; 3,3; 3,3
3	-1	+1	-1	3,5	3,8	3,7	3,7	3,5; 3,8; 3,7
4	+1	+1	-1	4,6	4,5	4,8	4,6	4,6; 4,5; 4,8
5	-1	-1	+1	5,0	5,0	5,0	5,0	5; 5; 5
6	+1	-1	+1	4,5	4,5	4,7	4,6	4,5; 4,5; 4,7
7	-1	+1	+1	5	4,8	5	4,7	5,0; 4,8; 5
8	+1	+1	+1	4,8	5	4,4	5	4,8; 5,0; 4,4

При перевірці однорідності дисперсій за критерієм Кохрена було отримано розрахункове значення коефіцієнта Кохрена 0.452 та порівняно його з

табличним значенням та розраховано коефіцієнти за якими отримали наступне рівняння регресії:

$$Y = 4.229 + 0.054 X_1 + 0.263 X_2 + 0.579 X_3 + 0.138 X_1 X_2 - 0.213 \cdot X_1 X_3 - 0.237 X_2 X_3 - 0.079 X_1 X_2 X_3 \quad (6)$$

Знайдені коефіцієнти рівняння регресії оцінювали на статистичну значимість. Оцінка проводилася за критерієм Стьюдента. Розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента (t_k) для кожного коефіцієнта рівняння регресії надані в табл. 6.

Таблиця 6

Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
t_k	128.905	1.651	8.001	17.653	4.191	6.477	7.239	2.413

З рівняння регресії у відповідності значимості коефіцієнтів за критерієм Стьюдента буде мати вигляд:

$$Y = 4.633 + 0.117 X_1 + 0.133 X_2 - 0.2 X_3 - 0.383 X_2 X_3 - 0.1 X_1 X_2 X_3 \quad (7)$$

Розрахункове значення критерію Фішера $F_p=1,987$ для рівняння регресії (3), а табличне $F_{tab}=2,4$ при рівні значущості $\alpha=5\%$ і числі ступенів свободи 16.

Отже, рівняння регресії (7), що отримане в результаті експерименту, адекватне досліджуваному об'єкту.

Рівняння регресії буде мати вигляд:

- у кодованій формі:

$$Y = 4.229 + 0.263 X_2 + 0.579 X_3 + 0.138 X_1 X_2 - 0.213 X_1 X_3 - 0.237 X_1 X_3 - 0.079 X_1 X_2 X_3 \quad (8)$$

- у натуральній формі:

$$Y = -22776 - 0.277 X_1 + 0.094 X_2 + 6.301 X_3 + 0.004 X_1 X_2 + 0.0055 X_1 X_3 - 0.022 X_1 X_3 - 0.001 X_1 X_2 X_3 \quad (9)$$

Графічне зображення рівняння (9) у вигляді поверхні відгуку і ліній рівня при фіксованому значенні кількості дозування висівок чи жмиху $X_1=31$ мкм представлено на рисунку 2.

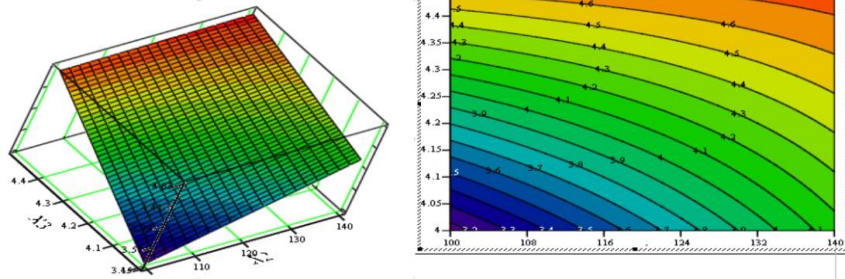


Рис.2 Графічне зображення рівняння у вигляді поверхні відгуку

Оптимізація технологічного процесу виробництва формованих картопляних чіпсів показала, що значення органолептичних показників - $Y=4,693$ досягається при кількості дозування висівків $X_1=31$ г, температурі випікання-висушування $X_2=120^0 - 140^0$ і часу випікання-висушування $X_3 = 4,48 - 4,50$ хв.

Висновки:

Отримані рівняння регресії за допомогою методу повного факторного експерименту надають можливість розрахувати ступінь подрібнення, температуру випікання-висушування, час випікання-висушування, кількість дозування сировини та кількість доданої води, так як ці показники дозволять отримати ФКЧ високої якості.

Також розроблено узагальнений критерій оптимізації, за допомогою якого проведено оптимізацію процесу структурно-механічних показників картопляного напівфабрикату та органолептичних показників готових ФКЧ.

Література:

1. Смоляр В.І. Стан фактичного харчування населення України/ В.І. Смоляр// Проблеми харчування. – 2014. № 1-2. –С.5-9.
2. Могильный Н.П. Современные направления использования пищевых волокон в качестве функциональных ингредиентов/ М.П. Могильный, Т.Ш. Шалтумаев и др.// Новые технологии. –2015. –№1. –С.27-31.
3. Кузьмичов А.І. Математичне програмування в Excel : навч. посіб. / А.І. Кузьмичов, М.Г. Медведєв. – К. : Вид-во Європ. Ун-ту, 2005. – 320 с.

References:

1. Smolyar V.I. (2014). The camp of the actual kharsuvannya population of Ukraine / V.I. Smolar // Problemy kharchuvannya, vol. 1-2. pp. 5-9.
2. Mogilnyj N.P. (2015) Sovremennyye napravlenija ispolsuvanija pishchevykh volokon v kachestve funktsionalnykh ingredientov, vol. 1. pp. 27-31.
3. Kuzmichov A.I., Medvedev M.G. (2005) Matematichne programuvannia v Excel : navch. posib, Urop, 320.

ABSTRACT. *In the article the of complete factor experiment is used for development regressive models of optimal parameter s of production of mouldable potato chips with addition of brans of rye (BR), bran of barley (BB), a pound of pumpkin seeds (PPS) crocoprox broccoli equalization of regression is set, that in a complete measure describe the surface of review. On the basis of the conducted results of researches with application of mathematical package of MathCAD optimal parameters are certain structural y-mechanical indexes of potato dough and organoleptic indexes of the prepared mouldable potato chips are certain.*

Keywords: *chips, potato groats, brans, a pound of pumpkin seeds, crypto powders, equalization of regression.*

Стаття відправлена: 20.05.2019 г.

© Ковтун А.В., Ковбаса В.М., Сєдих О.Л.