



УДК 663.5: 637.523

Топольник В.Г., Мілохова Т.А., Кузьмін О.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ШПРИЦЮВАННЯ КОВБАСНОГО ФАРШУ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

М'ясна промисловість є однією з важливих галузей харчової промисловості, яка покликана задовольняти попит населення якісною м'ясною продукцією (зокрема ковбасою).

Сьогодні ковбасні вироби є одним з основних продуктів харчування, практично все населення України споживає ковбаси. Тому перед виробниками ковбасної продукції стоїть важливе завдання – задоволення бажань споживача якісним товаром, що примушує спрямовувати всі свої зусилля одночасно як на стабілізацію якісних показників готової продукції, так і на постійне їх підвищення.

Це можливо тільки за обґрунтування відповідних умов реалізації технологічного процесу як в цілому, так і окремих процесів на відповідних етапах виробництва за рахунок використання сучасних методів дослідження та створення обладнання нового покоління, бажано з комп'ютерним оснащенням. Для цього є необхідною нова методологія, математичний апарат, пристрої та прилади, що контролюють.

Згідно з ДСТУ 4436:2005 [1], ковбасні вироби повинні нормуватися за органолептичними показниками: зовнішнім виглядом; консистенцією, вигляду фаршу на розрізі; запаху та смаку; форми; розміру та товарної відмітки (в'язання) батонів.

Одна з головних проблем виробництва варених ковбас – це однорідність структури. Однорідність структури характеризується відсутністю великих і малих порожнеч у фарші. Наявність у ковбасному фарші заповнених повітрям пір призводить до погіршення зовнішнього вигляду виробу на розрізі, негативно впливає на запах, колір, скорочує термін реалізації варених ковбас.

Одним із важливих етапів у виробництві варених ковбас є процес шприцювання, який визначає якісні характеристики готового продукту, у тому числі й однорідність структури. Під час шприцювання оболонок у фарші можуть утворюватися повітряні пухирці. На утворення цих повітряних пухирців впливає низка чинників, як на попередніх технологічних операціях (неточне дотримання рецептури з кількісного та якісного складу вихідної сировини і добавок для фаршу, подрібнення та перемішування рецептурних компонентів; нераціональне використання технологічного обладнання), так і під час самого процесу наповнювання оболонки, особливо це залежить від конструкції витискувача, що використовується, тиску, який він створює під час шприцювання, що залежить від структурно-механічних характеристик фаршу, виду та розміру оболонки, її термостатичних і динамічних властивостей [2].

Вирішенням цих питань займалися такі вчені: В.Д. Косой [3], С.А. Бредихін [4], А.І. Бармаш [5], Д. Йорданов [6]. Результатами їх досліджень встановлено, що на пороутворення в ковбасних фаршах впливає низка причин, одна з яких – це м'ясна сировина, у волоконній структурі якої міститься газова фаза, яка в результаті подрібнення звільняється з м'язів, об'єднується з частками повітря, які захоплюються робочими органами і розподіляються за всією масою фаршу.

Метою нашої роботи було знаходження математичної моделі залежності органолептичних властивостей ковбасних виробів від умов шприцювання ковбасного фаршу, яку можна використати для обґрунтування впливу параметрів, що характеризують процес, і прогнозування органолептичних показників за конкретних параметрів процесу.



Для досягнення поставленої мети нами було сплановано екстремальний експеримент за методом Бокса-Уілсона [7].

У таблиці 1 наведено область варійованих факторів з урахуванням апріорної інформації та реальних умов здійснення виробничого процесу. Параметр оптимізації y – органолептичні показники ковбасних виробів, які визначались спеціалістами-дегустаторами ковбасного цеху торговельного дому ТОВ «Амстор».

Таблиця 1 – Область факторного простору експерименту

Фактор		Найменування фактора	Розмір- ність	Рівень факторів			
				Верхній	Нижній	Нульовий	Крок
				+1	-1	0	–
$P_{п.п.}$	x_1	Тиск продукту, що подається	МПа	2,25	0,45	1,35	0,90
$P_{г.з.}$	x_2	Граничний залишковий тиск	МПа	-0,80	-0,48	-0,64	-0,16
T	x_3	Температура	К	285	275	280	5

Визначення органолептичних показників варених ковбас проводили за ГОСТом 9959-91 «Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки» [8] на засіданні дегустаційної комісії, створеної з числа фахівців підприємства, з урахуванням їх індивідуальної чутливості та здатності встановлювати специфічні відмінності в кольорі, смаку, запаху, ароматі і консистенції зразків м'ясних продуктів.

Перед подаванням на дегустацію проби кодували цифрами, що було зафіксовано в робочому журналі до початку дегустації. Оцінку зразків проводили за 5-бальною системою [8]: 5 – відмінна якість; 4 – добра; 3 – задовільна; 2 – погана; 1 – дуже погана.

Статистичне оброблення експериментальних даних проводили згідно з [9], за реалізації повного 3-х факторного експерименту.

Дисперсію в кожному досліді для 2 паралельних дослідів визначали за формулою:

$$S_j^2 = 2(y_j - \bar{y}_j)^2. \quad (1)$$

Набуті значення дисперсії S_j^2 внесено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахунок дисперсії S_j^2 для y – органолептична оцінка

Номер дослідів	x_1 (a)	x_2 (б)	x_3 (с)	Літерне позначення	y_1	y_2	$\bar{y}_j$	Δy_j	Δy_j^2	S_j^2
1	-1	-1	-1	<i>l</i>	4,20	4,32	4,26	-0,060	0,0036	0,0072
2	1	-1	-1	<i>a</i>	4,82	4,80	4,81	0,010	0,0001	0,0002
3	-1	1	-1	<i>б</i>	4,85	4,87	4,86	-0,010	0,0001	0,0002
4	1	1	-1	<i>ав</i>	3,23	3,35	3,29	-0,060	0,0036	0,0072
5	-1	-1	1	<i>с</i>	3,38	3,32	3,35	0,030	0,0009	0,0018
6	1	-1	1	<i>ас</i>	4,91	4,93	4,92	-0,010	0,0001	0,0002
7	-1	1	1	<i>вс</i>	4,88	4,90	4,89	-0,010	0,0001	0,0002
8	1	1	1	<i>авс</i>	3,90	3,88	3,89	0,010	0,0001	0,0002
$\sum_{j=1}^8 S_j^2$										0,0172



Після обчислення дисперсій перевіряємо гіпотезу їх однорідності. Перевірку однорідності проводимо за допомогою F -критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = 36. \quad (2)$$

Оскільки табличне значення $F_{\text{табл.}}$ для відповідних чисел мір свободи $f_1 = f_2 = 1$ і прийнятого рівня значущості $\alpha = 0,05$, дорівнює 161 [10].

Таким чином, $F_p = 36 < F_{\text{табл.}} = 161$ і гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Однорідність дисперсій за критерієм Кохрена G_p визначаємо за формулою:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = 0,42. \quad (3)$$

Табличне значення цього критерію за $\alpha = 0,05$ і за мір свободи $f_1 = 1$ і $f_2 = 8$ дорівнює 0,68. Оскільки розрахункове значення G_p -критерію не перевищує табличного значення G_m -критерію (умова $G_p < G_T$), тобто $0,42 < 0,68$, отже, дисперсії рядків є однорідними.

Оскільки дисперсії рядків S_j^2 однорідні, то визначимо дисперсію параметра оптимізації (дисперсію відтворюваності експерименту), яку обчислюємо за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,002. \quad (4)$$

Визначимо за формулою (5) дисперсію коефіцієнтів S_{bi}^2 :

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{nN} = 0,0001, \quad (5)$$

тоді за формулою (6) S_{bi} :

$$S_{bi} = +\sqrt{S_{bi}^2} = 0,01. \quad (6)$$

Розрахуємо величину довірчого інтервалу для коефіцієнтів за формулою (7), при $\alpha = 0,05$, $n-1 = 7$, $t = 2,36$, Δb_i :

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{bi} = 0,024. \quad (7)$$

За формулами (8-10) розраховуємо коефіцієнти регресії для y – органолептичної оцінки, з урахуванням даних таблиці 2, $b_0 = 4,28$; $b_1 = -0,06$; $b_2 = -0,05$; $b_3 = -0,02$.

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (8)$$



$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{y}_j, \quad (9)$$

$$b_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} \bar{y}_j. \quad (10)$$

Перевіримо кожен коефіцієнт на значущість. Для цього порівняємо кожен коефіцієнт з довірчим інтервалом $\Delta b_i = 0,024$:

$b_0 = 4,28 > \pm 0,024$ – значущий; $b_1 = -0,06 > \pm 0,024$ – значущий; $b_2 = -0,05 > \pm 0,024$ – значущий; $b_3 = -0,02 < \pm 0,024$ – незначущий.

Запишемо рівняння:

$$y = 4,28 - 0,06x_1 - 0,05x_2. \quad (11)$$

Регресійний аналіз закінчуємо перевіркою адекватності рівняння, що отримали, яка проводиться таким чином.

Для кожного рядка матриці (таблиця 2) знайдемо розрахункові значення $\hat{y}_j$. Для цього, в рівняння, що отримали, (11) підставляємо кодовані значення для кожного x . Звідси маємо:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 4,28 - 0,06(-1) - 0,05(-1) = 4,39; \\ \hat{y}_2 &= 4,28 - 0,06(+1) - 0,05(-1) = 4,27; \\ \hat{y}_3 &= 4,28 - 0,06(-1) - 0,05(+1) = 4,29; \\ \hat{y}_4 &= 4,28 - 0,06(+1) - 0,05(+1) = 4,17; \\ \hat{y}_5 &= 4,28 - 0,06(-1) - 0,05(-1) = 4,39; \\ \hat{y}_6 &= 4,28 - 0,06(+1) - 0,05(-1) = 4,27; \\ \hat{y}_7 &= 4,28 - 0,06(-1) - 0,05(+1) = 4,29; \\ \hat{y}_8 &= 4,28 - 0,06(+1) - 0,05(+1) = 4,17. \end{aligned}$$

Набутих значень внесемо до таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахункові дані для обчислення дисперсії адекватності

Номер досліду	Порядок реалізації	x_1	x_2	x_3	$\bar{y}_j$	$\hat{y}_j$	$\Delta y = (\bar{y}_j - \hat{y}_j)$	Δy^2
1	04, 16	-1	-1	-1	4,26	4,39	0,13	0,017
2	12, 02	1	-1	-1	4,81	4,27	-0,54	0,291
3	03, 07	-1	1	-1	4,86	4,29	-0,57	0,325
4	14, 15	1	1	-1	3,29	4,17	0,88	0,774
5	08, 09	-1	-1	1	3,35	4,39	1,04	1,082
6	13, 01	1	-1	1	4,92	4,27	-0,65	0,423
7	11, 05	-1	1	1	4,89	4,29	-0,60	0,360
8	06, 10	1	1	1	3,89	4,17	0,28	0,078
$\sum \Delta y^2$								3,350



За формулою (12) розраховуємо дисперсію адекватності S_{ad}^2 , яка характеризує розсіювання експериментальних і розрахункових даних:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2}{N - m} = 0,67. \quad (12)$$

Здійснюємо перевірку адекватності рівняння за допомогою F -критерію Фішера за формулою:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = 335. \quad (13)$$

Порівнюємо F_p з $F_{табл.}$ за $\alpha = 0,05, f_1 = 1$ і $f_2 = 8$, який дорівнює $F = 5,32$, тобто розрахункове значення $F_p = 335 > F_{табл.} = 5,32$. Таким чином, рівняння (11) є неадекватним.

Ухвалюємо рішення – ввести в рівняння (11) члени взаємодії x_1x_2 . У таблицю 4 внесемо кодовані значення.

Таблиця 4 – Початкові дані для розрахунку коефіцієнтів регресії для y

Номер досліду	Порядок реалізації	x_1	x_2	x_1x_2	$\bar{y}_j$	$\hat{y}_j$	Δy	Δy^2
1	4, 16	-1	-1	1	4,26	4,24	0,02	0,0004
2	12, 2	1	-1	-1	4,81	4,78	0,03	0,0009
3	3, 7	-1	1	-1	4,86	4,84	0,02	0,0004
4	14, 15	1	1	1	3,29	3,26	0,03	0,0009
5	8, 9	-1	-1	1	3,35	3,37	0,02	0,0004
6	13, 1	1	-1	-1	4,92	4,93	0,01	0,0001
7	11, 5	-1	1	-1	4,89	4,91	0,02	0,0004
8	6, 10	1	1	1	3,89	3,88	0,01	0,0001
$\sum \Delta y^2$								0,0036

За формулами (8-10) розраховуємо коефіцієнти регресії $b_{12} = -0,59$.

Запишемо рівняння:

$$y = 4,28 - 0,06x_1 - 0,05x_2 - 0,59x_1x_2. \quad (14)$$

Для розрахунку дисперсії адекватності попередні дані внесемо до таблиці 4.

За формулою (15) розраховуємо дисперсію адекватності S_{ad}^2 , яка характеризує розсіювання експериментальних і розрахункових даних:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2}{N - m} = 0,0009. \quad (15)$$

Здійснюємо перевірку адекватності рівняння за допомогою F -критерію Фішера за формулою:



$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = 0,45.$$

Порівнюємо F_p з $F_{табл.}$ за $\alpha = 0,05, f_1 = 1$ і $f_2 = 8$, який дорівнює $F = 5,32$, тобто розрахункове значення $F_p = 0,45 < F_{табл.} = 5,32$. Таким чином, рівняння (14) є адекватним.

Найбільший вплив на органолептичні показники має парна взаємодія факторів x_1 та x_2 ($x_1 \cdot x_2$).

Рівняння (14) не можна використовувати на практиці. Тому необхідно перетворити рівняння (14) за формулою переходу (16) від кодованих значень (x_1, x_2) та їх взаємодій до натуральних значень чинників ($P_{n.n}$ – тиск продукту, що подається, $P_{z.z}$ – граничний залишковий тиск):

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j}, \quad (16)$$

де x_j – кодоване значення чинника;

$\tilde{x}_j$ – натуральне значення чинника;

$\tilde{x}_{j0}$ – натуральне значення основного рівня;

I_j – інтервал варіювання;

j – номер чинника.

Таким чином, чинники в натуральних величинах мають значення:

$$x_1 = \frac{P_{n.n} - P_{n.n.0}}{\Delta P_{n.n.}}; \quad x_2 = \frac{P_{z.z} - P_{z.z.0}}{\Delta P_{z.z.}},$$

де $P_{n.n.0}, P_{z.z.0}$ – натуральні значення чинників на основних рівнях;

$\Delta P_{n.n.}, \Delta P_{z.z.}$ – значення інтервалів варіювання чинників.

Таким чином:

$$x_1 = \frac{P_{n.n} - 1,35}{0,90}; \quad x_2 = \frac{P_{z.z} - (-0,64)}{-0,16}. \quad (17)$$

Розрахуємо значення за (17):

$$x_1 = 1,11P_{n.n} - 1,5;$$

$$x_2 = -6,25P_{z.z} - 4,00.$$

Звідси рівняння, яке описуватиме залежність органолептичних показників ковбасних виробів від умов приготування, приймає вигляд:

$$O = 1,03 + 2,56P_{n.n.} - 5,22P_{z.z.} + 4,10P_{n.n.}P_{z.z.}, \text{ бал.} \quad (18)$$

Графічна залежність органолептичних властивостей ковбасних виробів від варіюваних факторів наведено на рисунку 1.

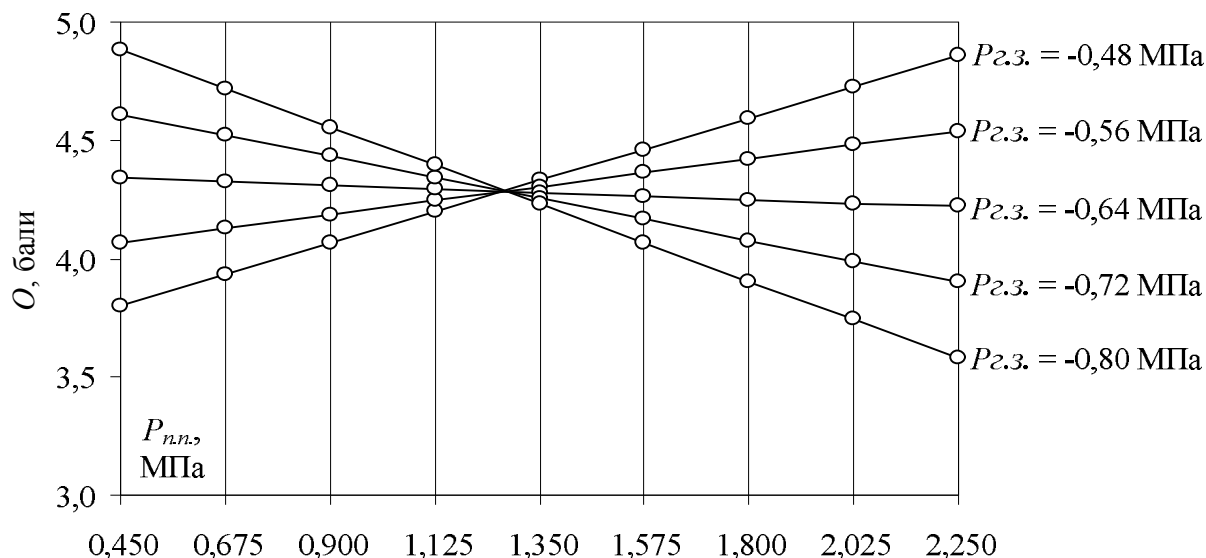


Рисунок 1 – Залежність органолептичних властивостей ковбасних виробів від варійованих чинників

Точка перетину кривих в точці $O = 4,23$ бали, при $P_{n.p.} = 1,30$ МПа за всіх можливих значень $P_{z.z.}$ у діапазоні від $P_{z.z.} = -0,48$ МПа до $P_{z.z.} = -0,80$ МПа. Тобто точка перетину є статистично незначущою для фактора x_2 – гранично залишковий тиск, тому що всі криві тиску зійшлися в одній точці.

У таблиці 5 подано інтерпретацію впливу напрямку дії факторів на параметр оптимізації – органолептичні властивості продукту. Таблицю сформовано на основі знаків коефіцієнтів за факторів у формулі (14), яка описує вплив окремих факторів та їх взаємодію на органолептичні характеристики ковбасних виробів. Тобто для поліпшення параметра оптимізації необхідно фактори: x_1 – тиск продукту, що подається – зменшувати; x_2 – граничний залишковий тиск (величина вакууму, який створюється вакуумним шприцем) – зменшувати; члени взаємодії x_1x_2 – зменшувати.

Таблиця 5 – Інтерпретація впливу чинників на органолептичні властивості

Напрямок оптимізації	x_1	x_2	x_1x_2
Збільшення (↑)	↓	↓	↓

Максимальне значення органолептичної оцінки знайдено в точці – 4,88 бала, за $P_{n.p.} = 0,45$ МПа, $P_{z.z.} = -0,80$ МПа. Тобто для поліпшення органолептичних властивостей продукту необхідною є стабілізація цих характеристик у процесі шприцювання ковбасного фаршу в оболонку.

Характерною особливістю органолептичних властивостей ковбасного фаршу від варійованих факторів є те, що для збільшення цього показника необхідно, згідно з рівнянням (14), тиск продукту, що подається, а також граничний залишковий тиск зменшувати до досягнення оптимуму (рисунок 1), тому що одиничні графіки до точки перетину переходять із нижньої частини у верхню та навпаки. Крім того, рівняння (14) має парну взаємодію x_1x_2 із коефіцієнтом 0,59, який є найбільшим, ніж сума всіх чинників, що існують, за зменшення цього впливу призведе до збільшення параметру оптимізації.

У результаті отримано функції регресії в кодованих і натуральних значеннях варійованих чинників, які адекватно описують вплив статистично значущих чинників на параметр оптимізації.



ВИСНОВКИ

Визначено математичну модель, що адекватно описує залежність органолептичної бальної оцінки варених ковбас від параметрів процесу шприцювання фаршу (тиск продукту, що подається; граничний залишковий тиск).

Визначено оптимальні умови процесу шприцювання, які забезпечують найбільше значення органолептичної оцінки, що є характерним для точки – 4,88 бала, за значень факторів, що існують, $P_{n,n} = 0,45$ МПа, $P_{z,z} = -0,80$ МПа.

Подальші наші дослідження будуть спрямовані на знаходження математичних моделей, які стабілізують фізико-хімічні та мікробіологічні характеристики кінцевого продукту.

Список літератури

1. Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні. Загальні технічні умови: ДСТУ 4436:2005. – [Чинний від 2005-07-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 32 с.
2. Зонин В.Г. Современное производство колбасных и солено-колбасных изделий / В.Г. Зонин. – СПб.: Профессия, 2006. – 224 с.
3. Косой В.Д. Оптимизация процесса шприцевания колбасных изделий / В.Д. Косой, А.В. Горбатов, С.Н. Туменов // Мясная индустрия СССР. – 1981. – № 11. – С. 23-26.
4. Бредихин С.А. Влияние технологических операций на насыщение воздухом мясного сырья / С.А. Бредихин // Мясная индустрия. – 2002. – № 4. – С. 54-56.
5. Бармаш А.И. Влияние механической обработки мяса и вакуумирования на качество фаршевых консервов / А.И. Бармаш // Мясная индустрия СССР. – 1986. – № 2. – С. 29-31.
6. Йорданов Д. Математическое моделирование процесса деаэрации фарша для колбас / Д. Йорданов, К. Динков // Известия вузов. Пищевая технология. – 2000. – № 1. – С. 77-80.
7. Топольник В.Г. Планування експериментального дослідження з пошуку оптимальних умов процесу шприцювання ковбасного фаршу / В.Г. Топольник, Т.А. Мілохова, О.В. Кузьмін // Наук. пр. ОНАХТ. – 2011. – Вип. 39. – С. 274-277.
8. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки: ГОСТ 9959-91. – [Дата введения 1993-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 12 с.
9. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
10. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В.Смирнов. – М.: Наука, 1983. – 416 с.



...Обнаруживают превосходное знание вещей, не столь уж существенных, это значит вызывать справедливые нарекания в том, что ты плохо использовал свои досуги и недостаточно изучал вещи более сложные и полезные

М. Монтень

