

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ШПРИЦЮВАННЯ КОВБАСНОГО ФАРШУ

**Топольник В.Г., докт. техн. наук, проф., Мілохова Т.А.,
Кузьмін О.В., канд. техн. наук
ДОНУЕТ імені Михайла Туган–Барановського, м. Донецьк**

У цієї роботи особлива увага приділена підготовчому етапу експериментальних досліджень процесу шприцювання ковбасного фаршу. Для забезпечення стабільності процесу шприцювання, були визначені критерії оптимальності технологічного процесу, і чинники, що впливають на параметри оптимізації.

In this paper special attention is given to the preparatory phase of the experimental studies of extrusion of sausage meat. To ensure the stability of the extrusion of sausage meat, there were certain criteria for the optimality of the process, and factors that affect the optimization.

Ключові слова: планування експерименту, параметр оптимізації, технологічний процес, ковбасний фарш, пороутворення, шприцювання, вакуумування.

На сьогоднішній день діяльність м'ясопереробних підприємств проходить в умовах конкурентної боротьби. Це примушує технологів спрямовувати всі свої зусилля одночасно, як на стабілізацію якісних показників готової продукції, так і на постійне їх підвищення. Це можливо, тільки з використанням сучасних методів дослідження та обґрунтування умов реалізації технологічного процесу в цілому, а також окремих процесів, що здійснюються на відповідних етапах виробництва.

Згідно з класифікацією продукції за видом, до ковбасних виробів відносять: варені вироби, напівкопчені, копчені, ліверні, кров'яні, фаршировані, паштети, зельці та студні. До групи варених виробів належать: варені ковбаси, сосиски і сардельки, м'ясні хліби. Відмінна риса виробництва цієї групи продукції – ретельне подрібнення сировини, в результаті якої фарш набуває певні властивості: він активно зв'язує воду і жир, формує вторинну структуру, проявляє клейкість, в'язкість.

Найбільш поширеною представлена група варених ковбас, яка за рахунок свого різноманіття асортименту має великий попит у населення. Виробництво варених ковбас збільшується з кожним роком. М'ясопереробними підприємствами все більше приділяється увага таким споживчим властивостям: структурі, консистенції продукту, соковитості, смаковим якостям, складу основних інгредієнтів. Тобто перед виробником стає завдання – для задоволення потреб населення у високоякісній продукції добитися високих органолептичних показників варених ковбас.

При аналізі основних проблем виробництва варених ковбас нами виділена одна із головних – це однорідність структури. Однорідність структури характеризує відсутність великих і малих порожнеч у консистенції фаршу. Ковбасний фарш, що має пори заповнені повітрям, призводить до погіршення зовнішнього вигляду виробу на розрізі, негативно впливає на його запах, колір, скорочує термін реалізації варених ковбас.

Вирішенням цього питання займався ряд вчених [1–3], тому результатами їх досліджень встановлено, що на пороутворення в ковбасних фаршах впливає ряд причин, одна з яких – це м'ясна сировина, у волоконній структурі якої знаходиться газова фаза, яка в результаті подрібнення звільняється з м'язів, об'єднується з частками повітря, які захоплюються робочими органами і розподіляються по усій масі фаршу.

Основні технологічні етапи, на яких можливе з'явлення процесу пороутворення – це попереднє подрібнення, кутерування, шприцювання ковбасного фаршу. Процеси подрібнення та кутерування достатньо вивчено сучасними авторами, але процес шприцювання, на наш погляд, є недостатньо розкритим.

Для розглядання процесу шприцювання та вибору оптимальних його характеристик необхідно порівняти різні варіанти процесу, врахувати та проаналізувати вплив величезного числа чинників на параметри виробу, і все це треба робити в обмежені терміни.

Ці питання переважно вирішувалися інтуїтивно, на основі досвіду технолога, що пояснюється високою складністю процесу через велику кількість і різноманітність внутрішніх зв'язків. Тому нерідко вибирається

не кращий варіант процесу, не кращі умови (режими) його проведення.

Одним з можливих рішень цих складних питань є використання математико-статистичної бази планування екстремального експерименту за методом Бокса-Уілсона [4–9].

За допомогою цього методу, на підставі аналізу якісних характеристик ковбасних виробів на вході і виході технологічного процесу, можливо виявити їх залежність від умов проведення процесу.

Тому метою роботи є наукове обґрунтування постановки експерименту для визначення оптимальних умов процесу шприцювання фаршу при виробництві варених ковбас.

Процес шприцювання, як об'єкт дослідження, представлено за [5, 10] у вигляді «чорного ящика», згідно з наступною схемою (рис. 1).

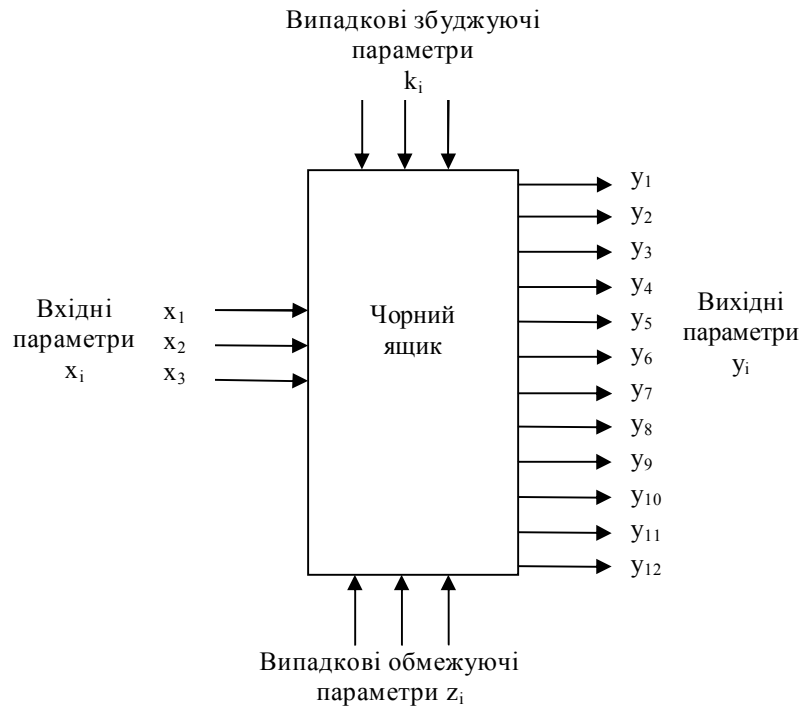


Рис. 1 – Параметрична схема процесу шприцювання ковбасного фаршу

Для проведення експериментальних досліджень використано роторний вакуумний шприц фірми REX, марка RVF–560, що дало можливість моделювати процес шприцювання ковбасного фаршу та керувати вхідними чинниками, контролюючи вихідні – критерії оптимальності. Наш вибір обумовлений тим, що роторно-лопатєва система подачі фаршу, яка використовується на цьому типі обладнання, дає найбільшу продуктивність, а наявність вакуумного насоса гарантує зменшення процесу пороутворення в продукті. При цьому необхідно враховувати, що недостатньо обмежуватися тільки технологічними можливостями шприца, а також треба визначитися якісними характеристиками фаршу.

Чорний ящик має входи (керовані чинники x_i) і вихідні параметри (параметри оптимізації y_i). Параметри, що піддаються управлінню, x_i представляють собою незалежні перемінні, які можна застосовувати з метою управління вихідними параметрами об'єкту [5].

В результаті проведення та обробки результатів активного експерименту виявляються взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами, які представлені у вигляді регресійної математичної моделі.

Критеріями оптимальності технологічного процесу y_i є характеристики ковбасного фаршу: y_1 — органолептична оцінка (бали); y_2 — вологовбирна здатність фаршу (%); y_3 — вологоутримуюча здатність фаршу (%); y_4 — жирутримуюча здатність фаршу (%); y_5 — ефективна в'язкість (Па·с); y_6 — ефективна напруга зсуву (Па); y_7 — об'ємна деформація (%); y_8 — масова доля білку (%); y_9 — масова доля вологи (%); y_{10} — кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КОЕ/см³); y_{11} — кількість бактерій групи кишкових паличок (КОЕ/см³); y_{12} — вихід готової продукції до маси сировини (%).

Чинники x_i варіюють згідно плану експерименту, а інші підтримують на постійному рівні. Щоб виключити вплив некерованих чинників (z_i, k_i) їм задавали середнє значення, а порядок реалізації дослідів рандомізували за допомогою випадкових чисел [10].

Чинниками – аргументами x_i , що впливають на вихідні параметри оптимізації y_i служать параметри технологічного процесу шприцювання: x_1 — тиск продукту, що подається (МПа); x_2 — граничний залишковий тиск (МПа); x_3 — температура фаршу (К).

Значення (рівні) чинників задані у відносних (кодованих) величинах. Верхній рівень чинника дорівнює +1, нижній – 1 і нульовий 0 [10].

Рішення розглянутої задачі полягає у визначенні таких значень чинників x_i , при яких кожен з перерахованих параметрів оптимізації y_i мав би найкраще, тобто оптимальне значення, виходячи з отриманої математичної моделі після статистичної обробки результатів експерименту.

Характеристика досліджуваного факторного простору й інтервали варіювання чинників (факторів) представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні та інтервал варіювання чинників

Чинник		Найменування чинника	Розмірність	Рівні параметра			
				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

Число дослідів повного факторного експерименту (ПФЕ) визначається за формулою:

$$n = 2^k, \quad (1)$$

де k – число чинників, які варіюють на двох рівнях.

Для зменшення кількості дослідів було реалізовано дробовий факторний експеримент (ДФЕ) - напіврепліка ПФЕ – 2^{3-1} . Число дослідів ДФЕ визначається по формулі:

$$n = 2^{k-p}, \quad (2)$$

де p – показник дробу, що приймає значення 1, 2, 3, і т.д.

Було вибрано напіврепліка 2^{3-1} , тобто використано співвідношення $x_3 = x_1 x_2$, з визначальним контрастом $x_1 \cdot x_2 = 1$. В цьому випадку кількість дослідів дорівнює 4 (табл. 2).

Таблиця 2 – Визначення дробової репліки та числа дослідів

Число чинників	Дробова репліка	Умовне позначення	Число дослідів	
			ДФЕ	ПФЕ
3	$1/2$ -репліка от 2^3	2^{3-1}	4	8

У табл. 3 приведено матрицю ДФЕ в кодованих значеннях, в табл. 4 – розгорнутий план реалізації експерименту з урахуванням випадковості реалізації, за певною послідовністю, в натуральних значеннях чинників.

В результаті проведення експерименту визначаються вихідні параметри, та після статистичної їх обробки за спеціальною методикою будуть отримані математичні моделі залежності вихідних параметрів від вхідних, тобто параметрів оптимізації від керованих чинників у вигляді лінійного рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k. \quad (3)$$

де y – вихідна змінна (цільова функція, або параметр оптимізації);

x_j – вхідні змінні, або чинники ($j = 1, k$);

k – число чинників.

Таблиця 3 – Матриця плану експерименту 2^{3-1} в кодованих значеннях

Порядок проведення дослідів	Випадковий порядок реалізації дослідів	x_1	x_2	x_3
		Тиск продукту, що подається	Граничний залишковий тиск	Температура
1	4, 8	-1	-1	1
2	3, 2	1	-1	-1
3	5, 1	-1	1	-1
4	7, 6	1	1	1

Таблиця 4 – Послідовність проведення експерименту і режими дослідів вального процесу

Послідовність проведення експерименту	x_1	x_2	x_3
	Тиск продукту, що подається, МПа	Граничний залишковий тиск, МПа	Температура, К
01	0,45	-0,80	275
02	2,25	-0,48	275
03	2,25	-0,48	275
04	0,45	-0,48	285
05	0,45	-0,80	275
06	2,25	-0,80	285
07	2,25	-0,80	285
08	0,45	-0,48	285

Висновки

Розроблено план проведення активного експерименту для оптимізації процесу шприцювання ковбасного фаршу, який передбачає напіврепліку повного трьохфакторного експерименту. За параметри оптимізації процесу прийняті фізичні, хімічні, органолептичні та мікробіологічні показники якості. Вибрано факторний простір що може впливати на вибрані параметри оптимізації. Подальша наша робота буде полягати в проведенні експериментальних досліджень за даними умовами для знайдення математичної моделі процесу шприцювання ковбасного фаршу, які необхідні для оптимізації процесу та стабілізації показників якості готової продукції.

Література

1. Бредихин С.А. Влияние технологических операций на насыщение воздухом мясного сырья // Мясная индустрия. – 2002. – №4. – С. 54–46.
2. Бредихин С.А. Эффективность деаэрации при переработке мясного сырья // Мясная индустрия. – 2002. – №2. – С. 18–20.
3. Бармаш А.И. Влияние механической обработки мяса и вакуумирования на качество фаршевых консервов // Мясная индустрия СССР. – 1986.– №2. С. 29–31.
4. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 76 с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
6. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: Metallургия, 1980. – 152 с.
7. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.
8. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно–бумажного производства: учеб. пособие. – Красноярск: Изд–во КГУ, 1982. – 192 с.
9. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие для хим.–технол. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
10. Голубцова Е.С., Каледин Б.А. Статистические методы исследования конструкционной керамики: монография. – Мн.: Технопринт, 2004. – 259 с.