

## ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ШПРИЦЮВАННЯ КОВБАСНОГО ФАРШУ

Топольник В.Г., д-р техн. наук, професор, Мілохова Т.А.,  
Кузьмін О.В., канд. техн. наук  
ДонНУЕТ ім. Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк

*У цієї роботі 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.*

*The preparatory phase including experimental studies of sausage meat stuffing is examined in this work. The criteria of technological process optimality and factors that affect optimization parameters to provide stuffing stability are determined.*

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 якимостям, 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.

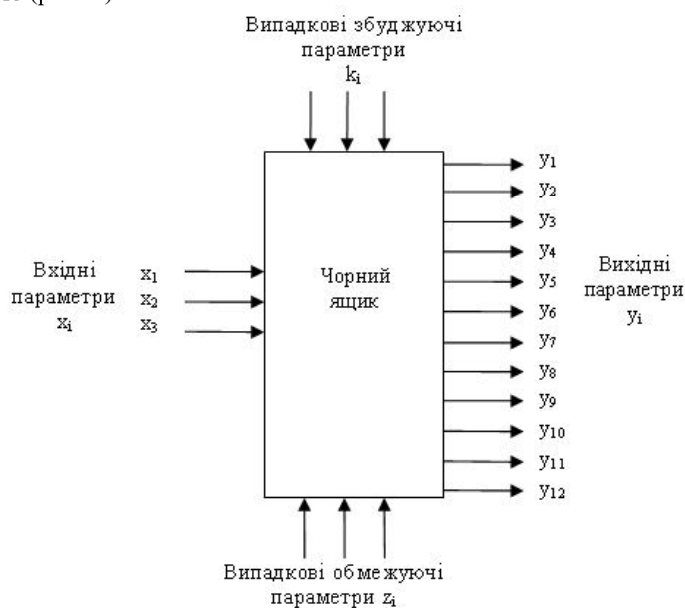
Ці питання переважно вирішувалися інтуїтивно, на основі досвіду технолога, що пояснюється високою складністю процесу через велику кількість і різноманітність внутрішніх зв'язків. Тому нерідко вибирається не кращий варіант процесу, не кращі умови (режими) його проведення.

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 вхідними 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 води (%);  $y_{10}$  — кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КОЕ/см<sup>3</sup>);  $y_{11}$  — кількість бактерій групи кишкових паличок (КОЕ/см<sup>3</sup>);  $y_{12}$  — 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	-	
$P_{пл.}$	$x_1$	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:

$$n = 2^k, \tag{1}$$

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

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

$$n = 2^{k-p}, \tag{2}$$

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

Було вибрано напіврепліка  $2^{3-1}$ , тобто використано співвідношення  $x_3=x_1x_2$ , 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	$\frac{1}{2}$ -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.

**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

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:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k. \tag{3}$$

де  $y$  — вихідна змінна (цільова функція, або параметр оптимізації);  
 $x_j$  — вхідні змінні, або чинники ( $j = 1, k$ );  
 $k$  — число чинників.

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

УДК 664.95

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОГО КРИОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Фатыхов Ю.А., Суслов А.Э., Бестужев А.С.  
ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,  
г. Калининград

*Приводится описание устройства для тонкого измельчения мороженого рыбного сырья. Даны результаты экспериментального исследования криоизмельчения рыбы. Разработана математическая модель процесса, устанавливающая взаимосвязь влияющих факторов.*

*The description of the equipment for fine crushing frozen raw fish is shown. The results of an experimental research of cryogenic grinding fish are given. A mathematical model of the process that establishes the relationship of influencing factors is developed.*

Ключевые слова: гидробионты, криоизмельчение, степень измельчения, устройство, математическая модель.

Известно, что оборудование для измельчения мороженых пищевых продуктов должно не только соответствовать всем необходимым требованиям, предъявляемым к измельчающим машинам, но и обеспечивать необходимый температурный режим процесса, сохраняющий дисперсность тонкоизмельченных