

УДК 663.5: 637.523

Т.А. Мілохова, О.В. Кузьмін, канд. техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ШПРИЦЮВАННЯ КОВБАСНОГО ФАРШУ В ОБОЛОНКУ

У статті приведено новітні дані по математичному моделюванню процесу шприцювання ковбасного фаршу в оболонку, з метою поліпшення якісних характеристик продукту.

В статье приведены новейшие данные по математическому моделированию процесса шприцевания колбасного фарша в оболочку, с целью улучшения качественных характеристик продукта.

In the article new data over are brought on a mathematical design of process of filling of the sausage stuffing are brought in a shell, with the purpose of improvement of quality descriptions of product.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сьогодні ковбасні виробни є найбільш поширеною групою, 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 як структура, консистенція продукту, соковитість, смакові якості та склад основних інгредієнтів. Тобто перед виробником стає завдання – для задоволення потреб населення у високоякісній продукції добитися високих органолептичних показників варених ковбас.

Це можливо, тільки з використанням сучасних розробок у технології переробки м'ясної сировини, які спрямовані на створення безперервнодіючих ліній, оснащених високоінтенсивним і високотехнологічним обладнанням, яке повинно відповідати підвищеним санітарно-гігієнічним вимогам, що дозволить скоротити загальний цикл виробництва і випускати високоякісні і біологічно повноцінні продукти харчування.

Одним з немаловажних етапів виробництва варених ковбас є процес шприцювання, який визначає якість готового продукту, формуючи рівномірну щільність структури ковбас. При шприцюванні фаршу в оболонку можуть утворюватися повітряні пухирці, які негативно впливають на якість варених ковбас. На утворення цих повітряних пухирців впливає низка чинників, як на попередніх

технологічних операціях (неточне дотримання рецептури по кількісному та якісному складу фаршу, подрібнення та перемішування рецептурних компонентів; нераціональне використання технологічного обладнання), так і під час самого процесу наповнювання оболонки, особливо це залежить від конструкції використовуваного витискувача, тиску, який він створює при шприцюванні, який залежить від структурно-механічних характеристик фаршу, виду та розміру оболонки, її термостатичних і динамічних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням цих питань займався ряд авторів: Косой В.Д., Горбатов А.В., Туменов С.Н. [1], Бредихин С.А. [2, 3], Бармаш А.И. [4], Йорданов Д., Динков К. [5]. 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.

Крім того остаються невирішеними питання про взаємозв'язок режимів роботи технологічного обладнання (шприца), які варіюються в порівняно широких межах, з якісними показниками сировинних складових та готової продукції, що дозволило б забезпечити стабільну якість ковбасних виробів.

Мета та завдання статті. За мету нами поставлено знаходження математичних моделей залежності фізико-хімічних, структурно-механічних, органолептичних та мікробіологічних властивостей ковбасних виробів від умов шприцювання ковбасного фаршу в оболонку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з можливим вирішенням цих складних питань є використання математико-статистичної бази планування екстремального експерименту за методом Бокса-Уілсона [5].

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 попередніми нашими дослідженнями [7] розроблено план проведення активного експерименту для оптимізації процесу шприцювання ковбасного фаршу, який передбачає повний трьохфакторний експеримент (ПФЕ).

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 (табл. 1), контролюючи вихідні – критерії оптимальності згідно плану проведення експерименту (табл. 2).

Таблиця 1 - Рівні та інтервал варіювання чинників

Фактор	Найменування фактору		Розмірність	Діапазон
$P_{н.п.}$	x_1	Тиск продукту, що подається	МПа	0,45÷2,25
$P_{г.з.}$	x_2	Граничний залишковий тиск	МПа	-0,48÷-0,80
T	x_3	Температура	К	275÷285

Таблиця 2 - Матриця плану експерименту 2³ в натуральних значеннях

Порядок проведення дослідів	Випадковий порядок реалізації дослідів	x_1	x_2	x_3
		Тиск продукту, що подається, МПа	Граничний залишковий тиск, МПа	Температура, К
1	4, 16	0,45	-0,48	275
2	12, 2	2,25	-0,48	275
3	3, 7	0,45	-0,80	275
4	14, 15	2,25	-0,80	275
5	8, 9	0,45	-0,48	285
6	13, 1	2,25	-0,48	285
7	11, 5	0,45	-0,80	285
8	6, 10	2,25	-0,80	285

За параметри оптимізації процесу прийняті фізичні, хімічні, органолептичні та мікробіологічні показники якості: y_1 — органолептична оцінка (бали); y_2 — вологопоглинаюча 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 (%).

Проведені нами експериментальні дослідження за даними умовами дозволили знайти математичні моделі процесу шприцювання ковбасного фаршу, які необхідні для оптимізації процесу та стабілізації показників якості готової продукції. Статистична обробка результатів дозволила математично описати залежність варійованих факторів на кожен параметр оптимізації у кодованих значеннях (табл.

3) та перетворених натуральних значеннях (табл. 4).

Таблиця 3 - Інтерпретація впливу чинників на параметри оптимізації в кодованих значеннях

Параметр	Напрямок оптимізації	x_1	x_2	x_3	Функція відгуку параметра оптимізації, в кодованих значеннях
y_1	(↑)	↓	↓	↓	$y_1 = 4,28 - 0,06x_1 - 0,05x_2 - 0,02x_3 - 0,59x_1x_2 + 0,20x_1x_3 + 0,18x_2x_3 - 0,06x_1x_2x_3$
y_2	(↑)	↑	↑	↓	$y_2 = 50,68125 + 1,06875x_1 + 4,61875x_2 - 1,99375x_3 + 3,53125x_1x_2$
y_3	(↑)	↑	↑	с.н.	$y_3 = 56,06 + 0,94x_1 + 0,87x_2 + 2,03x_1x_2$
y_4	(↑)	↑	↑	↑	$y_4 = 61,41 + 0,71x_1 + 0,60x_2 + 1,36x_3 + 1,95x_1x_2 - 1,24x_1x_3 - 2,43x_2x_3 + 1,77x_1x_2x_3$
y_5	(↑)	↑	↓	↓	$y_5 = 723,25 + 18,50x_1 - 14,88x_2 - 34,75x_3 - 7,38x_1x_2 - 7,25x_1x_3 - 40,88x_2x_3 - 64,13x_1x_2x_3$
y_6	(↑)	↑	↑	↓	$y_6 = 972,125 + 36,5x_1 + 28,25x_2 - 46,75x_3 + 8,875x_1x_2 - 58,625x_1x_3 - 4,875x_2x_3 - 43x_1x_2x_3$
y_7	(↓)	↑	↓	↓	$y_7 = 10,57 - 0,98x_1 + 0,20x_2 + 0,23x_3 - 0,29x_1x_2 - 0,36x_1x_3 - 0,37x_2x_3 + 0,26x_1x_2x_3$
y_8	(↑)	↑	↑	↓	$y_8 = 15,11 + 0,10x_1 + 0,18x_2 - 0,33x_3$
y_9	(↓)	с.н.	↓	↓	$y_9 = 58,05 + 0,54x_2 + 0,64x_3 - 0,33x_2x_3$
y_{10}	(↓)	↑	↑	↓	$y_{10} = 556,00 - 29,88x_1 - 9,25x_2 + 15,25x_3 - 29,38x_1x_2 - 35,50x_2x_3$
y_{11}	(↓)	с.н.			
y_{12}	(↑)	↑	↑	↓	$y_{12} = 110,88 + 4,28x_1 + 1,32x_2 - 1,83x_3 + 2,06x_1x_2 + 2,25x_2x_3 - 4,78x_1x_2x_3$

с.н. - статистично незначуще

Таблиця 4 - Інтерпретація впливу чинників на параметри оптимізації в натуральних значеннях

Параметр	Позначення	Формула, в натуральних значеннях
<i>O</i>	y_1	$O = 77,97 - 24,02P_{n.n.} + 87,03P_{2.3.} - 0,28T - 18,04P_{n.n.}P_{2.3.} + 0,09P_{n.n.}T - 0,33P_{2.3.}T + 0,08P_{n.n.}P_{2.3.}T$
<i>VPZ</i>	y_2	$VPZ = 163,44 - 14,51P_{n.n.} + 4,24P_{2.3.} - 0,40T - 24,52P_{n.n.}P_{2.3.}$
<i>VUZ</i>	y_3	$VUZ = 63,35 - 7,98P_{n.n.} + 13,61P_{2.3.} - 14,11P_{n.n.}P_{2.3.}$
<i>GUZ</i>	y_4	$GUZ = -1249,69 + 509,76P_{n.n.} - 1765,02P_{2.3.} + 4,71T + 674,35P_{n.n.}P_{2.3.} - 1,85P_{n.n.}T + 6,36P_{2.3.}T - 2,46P_{n.n.}P_{2.3.}T$
<i>V</i>	y_5	$V = 14437,75 - 15455,56P_{n.n.} + 19383,20P_{2.3.} - 49,03T - 24886,29P_{n.n.}P_{2.3.} + 55,39P_{n.n.}T - 69,14P_{2.3.}T + 89,06P_{n.n.}P_{2.3.}T$
<i>NZ</i>	y_6	$NZ = 11907,13 - 7053,33P_{n.n.} + 20775,39P_{2.3.} - 39,46T - 16783,85P_{n.n.}P_{2.3.} + 25,19P_{n.n.}T - 74,53P_{2.3.}T + 59,72P_{n.n.}P_{2.3.}T$
<i>OD</i>	y_7	$OD = -202,66 + 86,18P_{n.n.} - 268,50P_{2.3.} + 0,76T + 101,81P_{n.n.}P_{2.3.} - 0,31P_{n.n.}T + 0,94P_{2.3.}T - 0,36P_{n.n.}P_{2.3.}T$
<i>B</i>	y_8	$B = 32,71 + 0,11P_{n.n.} - 1,14P_{2.3.} - 0,07T$
<i>VI</i>	y_9	$VI = -52,60 - 117,11P_{2.3.} + 0,39T + 0,41P_{2.3.}T$
<i>MAFanM</i>	y_{10}	$MAFanM = -8344,44 + 97,36P_{n.n.} - 12642,58P_{2.3.} + 31,45T + 203,99P_{n.n.}P_{2.3.} + 44,38P_{2.3.}T$
<i>BGPK</i>	y_{11}	с.н.
<i>Vg</i>	y_{12}	$Vg = 2325,40 - 1195,00P_{n. n.} + 3310,42P_{2. 3.} - 7,91T - 1874,62P_{n. n.}P_{2.3.} + 4,25P_{n.n.}T - 11,78P_{2.3.} T + 6,64P_{n.n.}P_{2.3.}T$

На підставі аналізу якісних характеристик ковбасних виробів на вході і виході технологічного процесу виявлено їх залежність від умов проведення процесу шприцювання ковбасного фаршу. Встановлено, що вибраний факторний простір повною мірою

відповідає нашим очікуванням, які ґрунтувались на пошуку необхідних діапазонів на вибрані параметри оптимізації.

Аналіз приведених даних (табл. 3-4) дозволяє констатувати наступне:

- тиск продукту, що подається (x_1), необхідно підвищувати для 9 параметрів оптимізації, для 2-х параметрів (масова частка вологи, кількість БГКП) впливає статистично незначущо; для одного – органолептична оцінка необхідно знижувати;

- гранично залишковий тиск (x_2) необхідно підвищувати для 7 параметрів оптимізації, для одного параметра (кількість БГКП у ковбасному фарші) впливає статистично незначуще, для 4-х параметрів оптимізації його необхідно знижувати;

- температура ковбасного фаршу (x_3) - статистично незначущий чинник тільки для двох параметрів - кількості БГКП та ВУЗ ковбасного фаршу. Його необхідно знижувати для 9 параметрів оптимізації, підвищувати для одного параметру – ЖУЗ ковбасного фаршу.

Це дозволяє стверджувати, що у більшості випадків тиск продукту, що подається (x_1) необхідно підвищувати до максимального значення 2,25 МПа, граничний залишковий тиск (x_2) – збільшувати величину вакууму до - 0,8 МПа, температуру фаршу (x_3) – зменшувати до 275 К.

Оскільки найбільшу ваговитість мають, на наш погляд, дегустаційні властивості ковбасного виробу, тому будемо спиратися на отримане нами найбільше значення органолептичної оцінки, яке характерне для 6-го досліджу, середнє значення якого приймає значення 4,92 бали, при значеннях існуючих факторів $P_{n.n.}=2,25$ МПа, $P_{z.z.}=-0,48$ МПа, $T=285$ К.

Висновки. Проведено повний факторний експеримент типу 2^3 . Вивчено вплив на процес шприцювання ковбасного фаршу таких показників як: тиск продукту, що подається (x_1); граничний залишковий тиск (x_2); температура фаршу (x_3). Тому в комплексі наші дослідження підтверджують пошук раціональних характеристик обладнання, для поліпшення показників якості готового продукту.

Наступні наші дослідження будуть спрямовані на перетворення абсолютних значень показників якості продукції на безрозмірну їх оцінку при застосовуванні експоненціальної залежності, яку покладено в основу шкали бажаності Харрінгтона. Тому що, виражені в різних одиницях вимірювання значення неможливо безпосередньо звести в комплексний показник без трансформації їх до загальної шкали вимірювання, коли широко використовуються експертні та органолептичні оцінки.

Список літератури

1. Косой, В.Д. Оптимизация процесса шприцевания колбасных изделий [Текст] / Косой В.Д., Горбатов А.В., Туменов С.Н. // Мясная индустрия СССР. – 1981. – №11. – С. 23 – 26.
2. Бредихин, С.А. Эффективность деаэрации при переработке мясного сырья [Текст] / С.А. Бредихин // Мясная индустрия. – 2002. – № 2. – С. 18 – 20.
3. Бредихин, С.А. Влияние технологических операций на насыщение воздухом мясного сырья [Текст] / С.А. Бредихин // Мясная индустрия. – 2002. - №4. – С. 54 – 56.
4. Бармаш, А.И. Влияние механической обработки мяса и вакуумирования на качество фаршевых консервов [Текст] / А.И. Бармаш // Мясная индустрия СССР. – 1986. – № 2 – С. 29 – 31.
5. Йорданов, Д. Математическое моделирование процесса деаэрации фарша для колбас [Текст] / Д. Йорданов, К. Динков // Известия вузов. Пищевая технология. – 2000. – №1. – С. 77 – 80.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. - М.: «Наука», 1976. – 280 с.
7. Топольник, В.Г. Планування експериментального дослідження з пошуку оптимальних умов процесу шприцювання ковбасного фаршу [Текст] / Топольник В.Г., Мілохова Т.А., Кузьмін О.В. // Наукові праці ОНАХТ. – 2011. - Вип. 39. – С. 274-277.