

УДК 663.5: 637.523

**В.Г. Топольник**, докт. техн наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

**Н.М. Стукальська** (ДонНУЕТ, Донецьк)

**О.В. Кузьмін**, канд. техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ БІЛОГО М'ЯСА КУРЯТИНИ (ФІЛЕ)**

*Наведено дані математичного моделювання процесу подрібнення білого м'яса курятини (філе), з метою покращення якісних характеристик отриманого фаршу.*

*Преведены данные математического моделирования процесса измельчения белого мяса курятины (филе), с целью улучшения качественных характеристик полученного фарша.*

*The article presents the data of mathematical modeling of the grinding process of whitemeat chicken (fillets), in order to improve the qualitative characteristics of the resulting meat.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** За даними [1] м'ясо – основне джерело повноцінних білків в раціоні людини за рахунок вмісту незамінних амінокислот, які необхідні для забезпечення пластичних процесів в організмі. За кількістю ненасичених жирних кислот та вмісту насиченого жиру з дієтичної точки зору м'ясо птиці стоїть попереду свинини та яловичини. Саме тому, темпи зростання в споживанні цієї сировини у розвинених країнах вищий, ніж для інших типів м'яса [2].

У зв'язку з цим, на ринку м'яса птиці склалося сприятлива ситуація, за рахунок його дієтичних властивостей, що призвела до величезного попиту на цю сировину при виробництві багатьох видів ковбас та січених м'ясних напівфабрикатів.

Особливо актуальним стало використання м'яса птиці сьогодні, коли на ринку відзначається гострий дефіцит у яловичині та свинині. Важливо й те, що використання курячого м'яса дозволяє виробляти напівфабрикати і готові вироби з більш низькою собівартістю, тобто зробити їх більш доступними для споживачів.

Особливу увагу при виготовленні готової продукції приділяють його органолептичним і структурно-механічним показникам. Покращення даних показників можливо лише при розширенні діапазонів проведення процесу подрібнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Даним питанням займалися ряд авторів: Косой В.Д. [3], Чижикова Т.В. [4], Кузьмін В.В. [5], Сидряк О.М. [6]. Результатами їх досліджень доказано, що конструктивні параметри подрібнюючого обладнання суттєво впливають на якість отриманого фаршу та якість готового продукту. Крім цього, будова тканини та її фізико-хімічний склад також впливають на умови проведення процесу подрібнення.

**Мета і завдання статті.** Метою нашої роботи було вивчення впливу конструктивних параметрів подрібнюючого обладнання на фізико-хімічні, структурно-механічні і технологічні показники фаршу з білого м'яса курятини (філе) за рахунок використання математичного моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для вибору оптимального технологічного процесу подрібнення м'ясної сировини з курятини необхідно порівняти різноманітні варіанти процесу, врахувати та надати висновки щодо впливу великої кількості чинників на параметри готової продукції.

Для точності і достовірності отриманих даних використано математико-статистичну базу планування екстремального експерименту за методом Бокса-Уілсона [7]. Дана методика дозволяє виявити залежність впливу вхідних параметрів на якість отриманого фаршу.

Попередніми нашими дослідженнями [8] розроблено план проведення дробового факторного експерименту (ДФЕ) для оптимізації процесу подрібнення білого м'яса курятини (філе).

Для проведення експерименту використовували м'ясорубку торгової марки «BRAUN», перетворювач частоти «Lenze», потенціометр, що дають можливість моделювати процес подрібнення м'яса курятини та керувати вхідними чинниками (табл. 1).

*Таблиця 1 - Факторний простір екстремального експерименту*

Фактор		Найменування фактору	Розмірність	Рівні параметру			
				Верхній	Нижній	Нульовий	Крок
				+1	-1	0	-
$n$	$x_1$	Швидкість обертання валу	об/с	150	70	110	40
$d$	$x_2$	Діаметр отворів решітки	$\text{м} \cdot 10^{-3}$	6	3	4,5	1,5
$F$	$x_3$	Сила подачі сировини	Н	1,5	0,5	1	0,5
$\alpha$	$x_4$	Кут ножа	°	90	30	60	30

Щоб уникнути впливу систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами (змінюю сировини, температурою внутрішнього повітря та інше), досліди було рандомізовано у часі, з використанням таблиці випадкових чисел. В результаті чого отримано випадкову послідовність дослідів (табл. 2).

Таблиця 2 - Матриця 2<sup>4-1</sup> в натуральних значеннях

№ дослідів	№ дослідів при реалізації плану експерименту	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
		Швидкість обертання валу, об/с	Діаметр отворів ножової решітки, м · 10 <sup>-3</sup>	Сила подачі сировини, Н	Кут ножа, °
1	09, 16	150	6	1,5	90
2	14, 10	150	6	0,5	30
3	04, 13	150	3	1,5	30
4	08, 12	150	3	0,5	90
5	01, 07	70	6	1,5	30
6	06, 05	70	6	0,5	90
7	11, 15	70	3	1,5	90
8	02, 03	70	3	0,5	30

Як параметри оптимізації, що характеризують енергетичну ефективність процесу подрібнення та якість фаршу, прийняті:  $y_1$  – питома втрата електроенергії, кВт·год/т;  $y_2$  – гранична напруга зсуву, Па;  $y_3$  – в'язкість, Па·с;  $y_4$  – вологопоглинаюча здатність (ВПЗ) фаршу, %;  $y_5$  – коефіцієнт неоднорідності подрібнення фаршу;  $y_6$  – загальна деформація, %;  $y_7$  – дисперсний склад м'ясних часток (0,4-1 мм<sup>2</sup>), %;  $y_8$  – дисперсний склад м'ясних часток (1-4 мм<sup>2</sup>), %;  $y_9$  – дисперсний склад м'ясних часток (10-60 мм<sup>2</sup>), %.

Проведені експериментальних досліджень ДФЕ дозволили знайти математичні моделі процесу подрібнення білого м'яса курятини (філе), які необхідні для оптимізації процесу та покращення показників якості отриманого фаршу. Статистична обробка отриманих результатів надає можливості математично описати залежність варійованих факторів на кожен параметр оптимізації у кодованих значеннях (табл. 3) та перетворених натуральних значеннях (табл. 4).

Залежно від напрямку оптимізації кожного параметру приведено напрями варійованих чинників.

Аналізуючи результати показники якості отриманого фаршу,

виявлено їх залежність від умов проведення процесу подрібнення. обраний нами факторний простір відповідає очікуваним результатам, що ґрунтувалися на пошуку оптимальних діапазонів вибраних параметрів оптимізації.

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

Параметри оптимізації	Напрямок оптимізації	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	Функція відгуку параметра оптимізації, в кодованих значеннях
y <sub>1</sub>	(↓)	↑	↑	↑	↑	$y_1 = 6,13 - 0,18x_1 - 0,06x_2 - 0,17x_3 - 0,19x_4 - 0,02x_1x_3 + 0,20x_1x_4 - 0,38x_3x_4$
y <sub>2</sub>	(↑)	↑	↓	↓	↓	$y_2 = 727,85 + 61,13x_1 - 29,47x_2 - 66,29x_3 - 46,07x_4 - 25,13x_1x_3 - 36,51x_1x_4 + 44,99x_3x_4$
y <sub>3</sub>	(↑)	↑	↑	↓	↓	$y_3 = 262,09 + 22,39x_1 + 2,22x_2 - 2,33x_3 - 9,76x_4 + 2,44x_1x_3 - 10,08x_1x_4 + 8,87x_3x_4$
y <sub>4</sub>	(↑)	↓	↓	↓	↑	$y_4 = 62,27 - 0,25x_1 - 0,9x_2 - 0,36x_3 + 0,12x_4 - 0,19x_1x_3 - 0,3x_1x_4 + 0,39x_3x_4$
y <sub>5</sub>	(↓)	↓	↓	↑	с.н.	$y_5 = 52,00 + 1,75x_1 + 1,75x_2 - 1,25x_3 + 0,75x_1x_2 + 1,25x_1x_3 - 2,75x_2x_3$
y <sub>6</sub>	(↓)	↑	↓	↑	↓	$y_6 = 6,08 - 2,64x_1 + 1,14x_2 - 0,42x_3 + 1,36x_4 + 0,06x_1x_3 - 0,97x_1x_4 - 0,88x_3x_4$
y <sub>7</sub>	(↑)	↓	↓	↓	↓	$y_7 = 30,01 - 0,83x_1 - 4,21x_2 - 3,06x_3 - 2,26x_4 - 3,34x_1x_3 + 2,01x_1x_4 - 0,32x_3x_4$
y <sub>8</sub>	(↑)	↓	↑	↑	↓	$y_8 = 51,29 - 1,01x_1 + 2,47x_2 + 2,50x_3 - 0,62x_4 + 0,18x_1x_3 - 2,44x_1x_4 - 0,33x_3x_4$
y <sub>9</sub>	(↓)	↑	↑	↑	↑	$y_9 = 15,96 + 0,82x_1 + 0,24x_2 + 1,65x_3 + 2,9x_4 + 3,24x_1x_3 + 0,75x_1x_4 - 0,06x_3x_4$

с.н. – статистично незначуще

Для кожного параметру оптимізації знайдено напрямок руху, який впливає на збільшення чи зменшення показників.

Для покращення якості подрібненої м'ясної сировини з курятини (філе) треба зменшувати напрямок руху для чотирьох показників: питомої витрати електроенергії; коефіцієнту неоднорідності; загальної деформації; дисперсного складу часток (10-60 мм<sup>2</sup>), та збільшувати п'ять параметрів оптимізації: граничну напруги зсуву; в'язкість; волого-поглинаючу здатність; дисперсний склад часток розміром 0,4-1 мм<sup>2</sup>, дисперсний склад часток (1-4 мм<sup>2</sup>).

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

Параметр оптимізації	Умовне позначення	Розмірність	Формула, в натуральних значеннях
$y_1$	$Q$	кВт·г од/т	$Q = 6,98047 - 0,01339N - 0,04208d + 1,30719F + 0,00104\alpha - 0,00103NF + 0,00017N\alpha - 0,02563F\alpha$
$y_2$	$\Theta$	Па	$\Theta = 713,82766 + 4,61020N - 19,64708d - 174,34844F - 1,18842\alpha - 1,25634NF - 0,03043N\alpha + 2,99946F\alpha$
$y_3$	$\eta$	Па·с	$\eta = 211,49844 + 0,94172N + 1,47917d - 53,57813F + 0,00766\alpha + 0,12219NF - 0,0084N\alpha + 0,59125F\alpha$
$y_4$	$ВУЗ$	%	$ВУЗ = 71,93875 + 0,01863N - 0,59917d - 1,18F + 0,00609\alpha - 0,00975NF - 0,00025N\alpha + 0,02567F\alpha$
$y_5$	$K$	%	$K = 41 - 0,075N + 3,45833d + 7,125F + 0,0125Nd + 0,0625NF - 3,66667dF$
$y_6$	$\gamma$	%	$\gamma = -0,4948 - 0,02036N + 0,75779d + 2,37416F + 0,19275\alpha + 0,00277NF - 0,00081N\alpha - 0,0588F\alpha$
$y_7$	$B_{m.n.}$	%	$B_{m.n.} = 46,89516 + 0,0462N - 2,80625d + 13,56531F - 0,23766\alpha - 0,16722NF + 0,00167N\alpha - 0,02138F\alpha$

$y_8$	$B_{м.п.}$	%	$B_{м.п.} = 29,31234 + 0,08792N + 1,6462 +$ $+ 5,34094F + 0,22547\alpha + 0,00909NF -$ $- 0,00204N\alpha - 0,02221 N\alpha$
$y_9$	$B_{с.п.}$	%	$B_{с.п.} = 25,60422 - 0,17927N + 0,15708d -$ $- 14,27344F + 0,03217\alpha + 0,16216NF -$ $- 0,00063N\alpha - 0,0042 N\alpha$

Для вирішення цих питань швидкість обертання валу шнека треба збільшувати для п'яти показників, а саме: питомої витрати електроенергії; граничної напруги зсуву; в'язкості фаршу; загальної деформації; дисперсного складу часток (10-60  $\text{мм}^2$ ), та зменшувати для чотирьох показників: волого-поглинаючої здатності; коефіцієнту неоднорідності; дисперсного складу часток (0,4-1  $\text{мм}^2$ ) і дисперсного складу часток розміром 1-4  $\text{мм}^2$ .

Діаметр отворів решітки треба збільшувати для чотирьох показників: питомої витрати електроенергії; в'язкості фаршу; дисперсного складу часток (1-4  $\text{мм}^2$ ) і дисперсного складу часток (10-60  $\text{мм}^2$ ), та зменшувати для п'яти показників: граничної напруги зсуву; волого-поглинаючої здатності фаршу; коефіцієнту неоднорідності подрібнення; загальної деформації фаршу; дисперсного складу часток (0,4-1  $\text{мм}^2$ ).

Силу подачі сировини треба збільшувати для показників: питомої витрати електроенергії; коефіцієнту неоднорідності подрібнення фаршу; загальної деформації фаршу; дисперсного складу часток (1-4  $\text{мм}^2$ ); дисперсного складу часток розміром 10-60  $\text{мм}^2$ , та зменшувати для наступних показників: граничної напруги зсуву; в'язкості фаршу; волого-утримуючої здатності фаршу; дисперсного складу часток (0,4-1  $\text{мм}^2$ ).

Кут ножа треба збільшувати для наступних показників: питомої витрати електроенергії; волого-утримуючої здатності фаршу; дисперсного складу часток (10-60  $\text{мм}^2$ ), та зменшувати для граничної напруги зсуву; в'язкості фаршу; загальної деформації фаршу; дисперсного складу часток (0,4-1  $\text{мм}^2$ ) та дисперсного складу часток (1-4  $\text{мм}^2$ ).

При розгляданні найбільш впливовіших показників параметрів оптимізації на прикладі питомої витрати електроенергії ( $y_1$ ) можна зробити висновок, що для зменшення витрат електроенергії необхідно усі вхідні параметри ( $x_1 - x_4$ ) збільшувати. При розгляданні рівняння регресії можна зробити висновок, що серед одиничних показників найбільше значимий ( $x_4$  – кут ножа = 0,19) і найменш впливовіший ( $x_2$  – діаметр отворів решітки = 0,06). Серед показників парної взаємодії

найбільше значення має взаємодія ( $x_3x_4$  – сила подачі сировини та кут ножа = 0,38). Ця парна взаємодія навіть перебиває найбільший максимальний одиничний показник ( $x_4$  – кут ножа = 0,19).

**Висновки.** Для білого м'яса курятини (філе) знайдено математичні залежності кожного параметру оптимізації від варійованих чинників, які приведено у кодованих та натуральних значеннях, що спрощує їх сприйняття для визначення вагомості кожного чинника, направленість руху до екстремуму значення та уможлиблює інтерпретацію знайдених значінь.

Знайдено раціональні умови руху до оптимуму в процесі подрібнення: швидкість обертання приводного валу в більшості випадків слід збільшувати до 150 об/с; діаметр отворів решітки зменшувати до  $3 \text{ м} \cdot 10^{-3}$ ; силу подачі сировини збільшувати до 1,5 Н; кут ножа зменшувати до  $30^{\circ}$ .

Подальші наші дослідження будуть спрямовані на отримання чисельних значень рівня якості отриманого фаршу з білого м'яса курятини (філе) в єдиній вимірній системі п'яти-інтервальної шкали Харрінгтона в загальному інтервалі шкали від 1 до 0.

#### *Список літератури*

1. Ячнева М.О. Фізико-хімічні та біологічні технології м'яса та м'ясопродуктів [Текст] / М.О. Ячнева, Л.В. Пешук, О.Б. Дроменко // Навч. пос. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 304 с.
2. Шубина Г. Колбасы с мясом птицы: подбор оболочек [Текст] / Г. Шубина // Мясной бизнес. – 2011. - №3 (98).
3. Косой В.Д. Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества) [Текст] / В.Д. Косой, В.П. Дорохов. – М.: ДеЛиПринт, 2006. – 766 с.
4. Чижикова Т.В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов [Текст] / Т.В. Чижикова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 302 с.
5. Кузьмин В.В. Совершенствование процесса резания мясного сырья на основе математического моделирования формы режущих инструментов: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.12 [Текст] / В.В. Кузьмин. – СПб. – 2008. – 16 с.
6. Сидоряк А.Н. Совершенствование процесса измельчения мяса : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.12 [Текст] / А.Н. Сидоряк. – М. – 2007. – 22 с.
7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. – 280 с.
8. Топольник В.Г. Обґрунтування експерименту для оптимізації процесу подрібнення м'яса курятини [Текст] / В.Г. Топольник, Н.М. Іванова // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – випуск 35, том 2. – С. 126-129.