

тривалість сушіння до визначеного кінцевого вологовмісту та використати ці дані при проектуванні промислової сушильної установки.

Список літератури

1. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности: справочник. – М. : Экономика, 1984. – 328 с.
2. Сушеные овощи и фрукты : монография / В. А. Воскобойников [и др.]. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. – 190 с.
3. Кац З. А. Производство сушеных овощей, картофеля и плодов : монография / З. А. Кац. – М. : Пищевая пром-сть, 1976. – 198 с.
4. Пат. 3204141 ФРГ, МКИ А 23 L 1/212. Verfahren sur Herstellung von schnellloslichem keimarmem Gemusepulver / Braeutigam Frank (ФРГ). – № Р 3204141.1 ; заявл. 6.02.82 ; опубл. 18.08.83. – 2 с.
5. Пат. 24915 Україна, МПК (2007) F 26B 17 / 28. Сушарка для пюреподібних матеріалів / Поперечний А. М., Варваріна Н. М., Сич М. І.; заявник і патенто власник Донецьк. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – заявл. 11.12.2006 ; опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11. – 4 с.
6. Волончук С. К. Энергосберегающие технологии переработки растительного сырья / С. К. Волончук, А. Н. Сапожников, Л. П. Шорникова // Ползуновский вестник. – Барнаул : АлтГТУ, 2011. – Вып. 2/1. – С.166–171.
7. Ларионов Б. А. Экспериментальная установка для диспергирования и сушки картофельного пюре / Б. А. Ларионов, Б. Л. Шапиро // Консервная и овощесушильная промышленность. – М. : Пищевая пром-сть, 1979. – С. 30–32.
8. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.

Отримано 30.03.2012. ХДУХТ, Харків.

© А.М. Поперечний, І.В. Жданов, С.Ю. Попова, 2012.

УДК 663.5: 637.523

В.Г. Топольник, д-р 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.

Приведены 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 у 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 споживання цієї сировини в розвинених країнах вищі, ніж інших видів м'яса [2].

У зв'язку з цим, на ринку м'яса птиці склалася сприятлива ситуація, за рахунок його дієтичних властивостей, що призвело до величезного попиту на цю сировину під час виробництва багатьох видів ковбас та сичених м'ясних напівфабрикатів.

Особливо актуальним стало використання м'яса птиці сьогодні, коли на ринку спостерігається гострий дефіцит яловичини та свинини. Важливо й те, що використання курячого м'яса дозволяє виробляти напівфабрикати та готові вироби з більш низькою собівартістю, тобто зробіть їх доступнішими для споживачів.

Особливу увагу під час виготовлення готової продукції приділяють його органолептичним і структурно-механічним показникам. Покращення даних показників можливо лише в разі розширення діапазонів проведення процесу подрібнення.

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

Мета та завдання статті. Метою нашої роботи було вивчення впливу конструктивних параметрів подрібнюючого обладнання на фізико-хімічні, структурно-механічні та 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, урахувати та надати висновки щодо впливу великої кількості чинників на параметри готової продукції.

Для точності та достовірності отриманих даних використано математично-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 дробленого 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 курятини та керувати вхідними чинниками (табл. 1).

Таблиця 1 – Факторний простір екстремального експерименту

Фактор		Найменування фактора	Розмірність	Рівні параметри			
				Верхній	Нижній	Нульовий	Крок
				+1	-1	0	-
n	x_1	Швидкість обертання вала	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 подання сировини	Н	1,5	0,5	1	0,5
α	x_4	Кут ножа	°	90	30	60	30

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

Таблиця 2 – Матриця 2^{4-1} в натуральних значеннях

№ досліді	№ досліді під час реалізації плану експерименту	x_1	x_2	x_3	x_4
		Швидкість обертання вала, об/с	Діаметр отворів ножової решітки, $\text{м} \cdot 10^{-3}$	Сила подання сировини, Н	Кут ножа, °
1	2	3	4	5	6
1	09, 16	150	6	1,5	90
2	14, 10	150	6	0,5	30

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
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, взяли: 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 частинок (0,4...1 мм²), %; y_8 – дисперсний склад м'ясних частинок (1...4 мм²), %; y_9 – дисперсний склад м'ясних частинок (10...60 мм²), %.

Проведені експериментальні дослідження 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 дає можливість математично описати залежність варійованих факторів на кожен параметр оптимізації в кодованих значеннях (табл. 3) та перетворених натуральних значеннях (табл. 4).

Залежно від напрямку оптимізації кожного параметра наведено напрями варійованих чинників.

Аналізуючи результати показників 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.

Для кожного параметра 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 чотирьох показників: питомої витрати електроенергії; коефіцієнта неоднорідності; загальної деформації; дисперсного складу частинок (10...60 мм²), та збільшувати п'ять параметрів оптимізації: граничну

напруги зсуву; в'язкість; вологопоглинаючу здатність; дисперсний склад частинок розміром 0,4...1 мм², дисперсний склад частинок (1...4 мм²).

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

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

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

Параметр оптимізації	Умовне позначення	Розмірність	Формула, у натуральних значеннях
y_1	Q	кВт·го д/т	$Q = 6,98047 - 0,01339N - 0,04208d + 1,30719F + 0,00104\alpha - 0,00103NF + 0,00017N\alpha - 0,02563F\alpha$
y_2	Θ	Па	$\Theta = 713,82766 + 4,61020N - 19,64708d - 174,34844F - 1,18842\alpha - 1,25634NF - 0,03043N\alpha + 2,99946F\alpha$
y_3	η	Па·с	$\eta = 211,49844 + 0,94172N + 1,47917d - 53,57813F + 0,00766\alpha + 0,12219NF - 0,0084N\alpha + 0,59125F\alpha$
y_4	B_{V3}	%	$B_{V3} = 71,93875 + 0,01863N - 0,59917d - 1,18F + 0,00609\alpha - 0,00975NF - 0,00025N\alpha + 0,02567F\alpha$
y_5	K	%	$K = 41 - 0,075N + 3,45833d + 7,125F + 0,0125Nd + 0,0625NF - 3,66667dF$
y_6	γ	%	$\gamma = -0,4948 - 0,02036N + 0,75779d + 2,37416F + 0,19275\alpha + 0,00277NF - 0,00081N\alpha - 0,0588F\alpha$
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	$B_{m.n.}$	%	$B_{m.n.} = 29,31234 + 0,08792N + 1,6462 + 5,34094F + 0,22547\alpha + 0,00909NF - 0,00204N\alpha - 0,02221N\alpha$
y_9	$B_{c.n.}$	%	$B_{c.n.} = 25,60422 - 0,17927N + 0,15708d - 14,27344F + 0,03217\alpha + 0,16216NF - 0,00063N\alpha - 0,0042N\alpha$

Для вирішення цих питань швидкість обертання вала шнека треба збільшувати для п'яти показників, а саме: питомої витрати електроенергії; граничної напруги зсуву; в'язкості фаршу; загальної деформації; дисперсного складу частинок (10...60 мкм), та зменшувати

для чотирьох показників: вологопоглинаючої здатності; коефіцієнта неоднорідності; дисперсного складу частинок ($0,4...1 \text{ мм}^2$) і дисперсного складу частинок розміром $1...4 \text{ мм}^2$.

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

Силу подання сировини треба збільшувати для показників: питомої витрати електроенергії; коефіцієнта неоднорідності подрібнення фаршу; загальної деформації фаршу; дисперсного складу частинок ($1...4 \text{ мм}^2$); дисперсного складу частинок розміром $10...60 \text{ мм}^2$, та зменшувати для таких показників: граничної напруги зсуву; в'язкості фаршу; вологоутримуючої здатності фаршу; дисперсного складу частинок ($0,4...1 \text{ мм}^2$).

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

Розглядаючи найбільш впливові показники параметрів оптимізації на прикладі питомої витрати електроенергії (y_1), можна зробити висновок, що для зменшення витрат електроенергії необхідно всі вхідні параметри ($x_1 - x_4$) збільшувати. Розглядаючи рівняння регресії, можна зробити висновок, що серед одиничних показників найбільш вагомий ($x_4 - \text{кут ножа} = 0,19$) і найменш впливовий ($x_2 - \text{діаметр отворів решітки} = 0,06$). Серед показників парної взаємодії найбільше значення має взаємодія ($x_3x_4 - \text{сила подання сировини та кут ножа} = 0,38$). Ця парна взаємодія навіть перебиває найбільший максимальний одиничний показник ($x_4 - \text{кут ножа} = 0,19$).

Висновки. Для білого м'яса курятини (філе) знайдено математичні залежності кожного параметра оптимізації від варійованих чинників, які наведено в кодованих та натуральних значеннях, що спрощує їх сприйняття для визначення вагомості кожного чинника, направленість руху до екстремуму значення та уможливорює інтерпретацію знайдених значень.

Знайдено раціональні умови руху до оптимуму в процесі подрібнення: швидкість обертання привідного вала в більшості випадків слід збільшувати до 150 об/с ; діаметр отворів решітки зменшувати до $3 \cdot 10^{-3}$; силу подання сировини збільшувати до $1,5 \text{ Н}$; кут ножа зменшувати до 30^0 .

Подальші наші дослідження будуть спрямовані на отримання чисельних значень рівня якості отриманого фаршу з білого м'яса курятини (філе) в єдиній вимірній системі п'ятиінтервальної 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 : навч. посібник / М. О. Ячнева, Л. В. Пешук, О. Б. Дроменко. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 304 с.
2. Шубина Г. Колбасы с мясом птицы: подбор оболочек / Г. Шубина // Мясной бизнес. – 2011. – № 3 (98).
3. Косой В. Д. Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества) / В. Д. Косой, В. П. Дорохов. – М. : ДеЛипринт, 2006. – 766 с.
4. Чижикова Т. В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов / Т. В. Чижикова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 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 / В. В. Кузьмин. – СПб., 2008. – 16 с.
6. Сидорьяк А.Н. Совершенствование процесса измельчения мяса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / А. Н. Сидорьяк. – М., 2007. – 22 с.
7. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / 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 / В. Г. Топольник, Н. М. Иванова // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – Вип. 35, т. 2. – С. 126–129.

Отримано 30.03.2012. ХДУХТ, Харків.

© В.Г. Топольник, Н.М. Стукальська, О.В. Кузьмін, 2012.

УДК 66.083.2:379.4

В.О. Сукманов, д-р техн. наук (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

О.І. Бескровний, канд. техн. наук (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

С.І. Охременко, асист. (*ДонНУЕТ, Донецьк*)

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВИСОКИМ ТИСКОМ ПАСТИ З ПРЯНИХ ТРАВ

Наведено результати оптимізації параметрів процесу обробки (високий тиск, температура, час експозиції), які впливають на якість пасти з пряних трав.