

- сред. проф. образования / Л. С. Кузнецова, М. Ю. Сиданова. — 3-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 320 с.
- Полякова, А. В. Використання рослинних добавок антиоксидантної дії в технології виробів з листового тіста [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Полякова. — Донецьк, 2008. — 23 с.
  - Андреев, А. Н. Сдобные булочные и мучные кондитерские изделия из слоеного теста [Текст] / А. Н. Андреев. — М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1992. — 48 с.
  - Leung, H. K. Storage Stability of a Puff Pastry Dough with Reduced Water Activity [Text] / H. K. Leung, J. P. Matlock, R. S. Meyer, M. M. Morad // Journal of Food Science. — 1984. — Vol. 49, № 6. — P. 1405–1409. doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb12808.x
  - Andrews, J. L. A simple, high-throughput test for dough strength [Text] / J. L. Andrews, M. J. Blundell, J. H. Skerritt; eds: D. Martin, C. W. Wrigley // Proceedings of International Conference «Cereals International». — Melbourne: Royal Australian Chemical Institut, 1991. — P. 406–410.
  - Davies, A. P. Wheat protein properties and puff pastry structure [Text] / A. P. Davies, D. W. Patient, S. J. Ingman, S. Ablett, M. Drage, M. Asquith, D. J. Barnes // Proceedings of the 3rd International Workshop on Gluten Proteins, Budapest, Hungary, May 9–12, 1987. — World Scientific, 1987. — P. 466–477.
  - Frazier, P. J. Laboratory measurement of dough development [Text] / P. J. Frazier, C. S. Fitchett, P. W. Russell Eggitt; ed: H. Faridi // Rheology of Wheat Products. — 1985. — P. 151–175.
  - Hawks, C. L. Flour protein quality [Text] / C. L. Hawks // Proceedings of the 64th Annual Meetings. — 1988. — P. 112–122.
  - McGill, E. A. Puff pastry production [Text] / E. A. McGill // Baker's Dig. — 1975. — Vol. 49. — P. 28–38.
  - Храмцов, А. Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: учебное пособие [Текст] / А. Г. Храмцов. — М.: ДеЛи, 2004. — 587 с.
  - Мархель, П. С. Производство пирожных и тортов [Текст] / П. С. Мархель, Ю. Л. Гопенштейн, С. В. Смелов. — М.: Пищевая промышленность, 1975. — 320 с.

#### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРЭСНОГО СЛОЕНОГО ПОЛУФАБРИКАТА НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Предложено использование вместо воды и лимонной кислоты в технологиях пресного слоеного полуфабриката молочной

сыворотки, которая является ценным источником незаменимых аминокислот. Определены эластичность и упругость, растяжимость теста пресного слоеного полуфабриката. На основе полученных результатов разработана технология пресного слоеного полуфабриката на основе молочной сыворотки, которая характеризуется низким уровнем промышленной переработки.

**Ключевые слова:** пресный слоеный полуфабрикат, молочная сыворотка, эластичность, упругость, растяжимость, выход, влажность.

*Никифоров Радіон Петрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Кривий Ріг, Україна, e-mail: nikradion@yandex.ua.*

*Сабіров Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, кафедра технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Кривий Ріг, Україна, e-mail: junnesc@yandex.ru.*

*Никифоров Радіон Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии в ресторанном хозяйстве и гостиничного и ресторанного дела, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, Кривой Рог, Украина.*

*Сабиров Александр Владимирович, кандидат технических наук, кафедра технологии в ресторанном хозяйстве и гостиничного и ресторанного дела, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, Кривой Рог, Украина.*

*Nykyforov Radion, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Krivoy Rog, Ukraine, e-mail: nikradion@yandex.ua.*

*Sabirov Oleksandr, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Krivoy Rog, Ukraine, e-mail: junnesc@yandex.ru.*

УДК 664.002.5:640.432

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44167

**Рамазанов С. К.,  
Скрипник В. О.,  
Молчанова Н. Ю.**

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В ПРОЦЕСІ ДВОСТОРОННЬОГО ЖАРЕННЯ М'ЯСА НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Проведено комп'ютерне аналітичне дослідження динаміки розподілу температур в м'ясі свинини під час двостороннього жарення в умовах стиснення. Проаналізовано можливості загального вирішення рівняння нестационарної теплопровідності при двосторонньому жаренні м'яса в умовах стиснення. Для вирішення запропоновано використовувати нелінійний метод узагальненого понижуючого градієнту, який використовується для гладких нелінійних задач, за допомогою оптимізаційної програми, вбудованої в MS Excel.

**Ключові слова:** двостороннє жарення, м'ясо, модель динаміки, нелінійна оптимізація, теплопровідність.

### 1. Вступ

Удосконалення процесів теплового оброблення м'ясопродуктів є актуальною науковою задачею. Вивчення

закономірностей протікання цих енергомістких процесів є необхідною умовою створення енергозберігаючих технологій і обладнання [1]. Основним завданням аналітичного описання теплового оброблення є створення

інженерних методів розрахунку відповідних процесів. Аналітичне описання процесів розповсюдження теплоти при тепловому обробленні засновано на наближеному рішенні рівняння нестационарної теплопровідності.

**2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Двостороннє жарення м'яса є нестационарним тепловим процесом, кінцевою метою якого є отримання готового продукту з певними органолептичними параметрами. Цей процес ускладнюється фазовим перетворенням рідини в поверхневих шарах продукту. Стиснення при двосторонньому жаренні впливає на теплофізичні властивості м'яса [2] і, відповідно, на динаміку розподілу температур на поверхні і всередині продукту (рис. 1) [3].

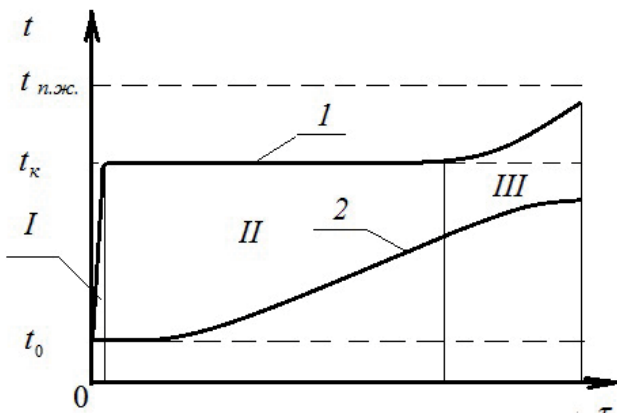


Рис. 1. Динаміка температури в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення: 1 — температура в поверхневих шарах (кірочках); 2 — температура в центрі

Увесь процес двостороннього жарення в умовах стиснення можна поділити на три стадії (рис. 1):

I стадія — доведення поверхні продукту до температури випаровування води  $t_k$ ;

II стадія — процес випаровування води;

III стадія — утворення кірочки просмажування на поверхні продукту.

В першій стадії внаслідок контакту з розігрітими до  $t_{п.ж.} = 150\text{ }^\circ\text{C}$  поверхнями нагрівання температура горизонтальних поверхонь продукту миттєво досягає значення  $t_k$ ; сама перша стадія є нетривалою у часі.

Найбільш тривалою і найбільш значимою в енергетичних витратах на процес жарення є друга стадія, у ході якої продукт отримує найбільшу частину теплоти внаслідок випарування води з горизонтальних поверхонь. Для процесу двостороннього жарення під тиском у функціонально-замкненому об'ємі м'яса з високим вмістом сполучної тканини (ВВСТ) вирішальне значення має саме друга стадія.

Тривалість третьої стадії є визначальною для надання органолептичних властивостей готовому продукту. Регулюванням тривалості третьої стадії можна досягти різного ступеня просмажування кірочки і, як наслідок, різного виходу готового продукту.

Вирішення рівняння нестационарної теплопровідності за таких умов є актуальною задачею.

**3. Об'єкт, мета та задачі дослідження**

Об'єктом дослідження процес двостороннього жарення м'яса.

Метою статті є проблема дослідження та рішення рівняння нестационарної теплопровідності при двосторонньому жаренні м'яса в умовах стиснення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- аналітичне дослідження динаміки розподілу температур в м'ясі свинини під час двостороннього жарення в умовах стиснення;
- вирішення рівняння нестационарної теплопровідності при двосторонньому жаренні м'яса в умовах стиснення.

**4. Матеріали та методи дослідження процесу двостороннього жарення м'яса**

В роботі використовувався аналітичний метод досліджень раніше опублікованих експериментальних і теоретичних даних.

**5. Результати досліджень процесу двостороннього жарення м'яса**

Розглянемо класичний вигляд рівняння нестационарної теплопровідності.

Рівняння теплопровідності в загальному вигляді представити як [4, 5]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - a \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = f(x, y, z, \tau), \tag{1}$$

або

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - a \cdot \nabla^2 T = f(x, y, z, \tau), \tag{2}$$

або

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{c \cdot \rho} \operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad}(T)) + \frac{1}{c \cdot \rho} f(x, y, z, \tau), \tag{3}$$

де  $T \equiv T(x, y, z, \tau)$  — температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$  — коефіцієнт

температуропровідності м'яса,  $\text{m}^2/\text{c}$ ;  $f(x, y, z, \tau)$  — функція

теплових джерел;  $\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla^2$  — оператор Лапласа

в декартовій системі координат.

Двостороннє жарення м'яса в умовах стиснення можна розглядати як процес нагрівання нескінченної пластини і, через це, можна розглядати лише одну просторову координату.

В зв'язку з цим,  $x = \delta, (\delta, \tau) : 0 \leq \delta \leq \delta_m, 0 \leq \tau \leq \tau_k$  та  $T = T(\delta, \tau)$ , де  $\delta_m$  — товщина м'яса, м.

Відомо, що загальне рішення рівняння теплопровідності (1) можна отримати методом Фур'є, яке аналітично являє собою нескінченний ряд [4–6]. Однак, для

рішення прикладних задач даний вираз не має реального (зручного) використання через те, що ряд чисел не визначає внутрішніх зв'язків, які характеризують досліджуване завдання, в зв'язку з чим актуальним стає питання розробки практичного підходу для рішення реальних задач, зокрема, для процесу двостороннього жарення м'яса в умовах стиснення.

Найбільш доцільним для рішення є комп'ютерні (експериментальні) моделювання і розрахунок для побудови залежностей температури від товщини зразка м'яса  $\delta_m$  в тривалості  $\tau$ .

Для цього доцільно використовувати підхід для апроксимації на основі методу найменших квадратів, а у якості цільового функціоналу оптимізації нами пропонується середньоквадратичне відхилення (СКВ) у вигляді:

$$F(a) = \sum_{\tau=1}^{\tau=n} [T_{\tau} - \hat{y}_{\tau}(a)]^2,$$

тобто вирішується задача нелінійної оптимізації відносно вектору параметру  $a$ :

$$F(a) \Rightarrow \min_a,$$

де  $T_{\tau} = T(\tau, \delta_m^*)$  — динаміка температури при фіксованому значенні  $\delta_m$ ;  $\hat{y}_{\tau}(a)$  — шукана функція моделі (можливої залежності).

Для вирішення даної задачі у якості комп'ютерного інструментарію можна використовувати ряд прикладних пакетів, наприклад, MathCad, Excel, Curve Expert та ін. Найбільш простим і зручним пакетом з них є табличний процесор MS Excel. Усі описані у статті розрахунки виконані за допомогою популярної оптимізаційної програми Solver (Пошук рішень), вбудованої в MS Excel. При цьому був використаний такий алгоритм або метод пошуку рішення як нелінійний метод узагальненого понижуючого градієнту, який використовується для гладких нелінійних задач.

Функцію теплоперенесення в процесі двостороннього жарення м'яса можна представити у вигляді мультиплікативної залежності:

$$T(\tau, \delta_m) = F[y(\tau), z(\delta_m), a] = A \cdot y(\tau) \cdot z(\delta_m), \quad (4)$$

де  $T(\tau, \delta_m) \equiv T_{\tau}(\delta)$  — функція температури;  $\tau$  — тривалість процесу;  $c$ ;  $\delta_m$  — товщина м'яса, м;  $y(\tau) \equiv y_{\tau}$  — тренд процесу;  $z(\delta_m)$  — компонента моделі теплопровідності як функція від товщини м'яса  $\delta_m$ ;  $A$  — масштабуючий коефіцієнт;  $a$  — вектор параметрів моделі.

На основі комп'ютерного експерименту отримані загальні закономірності відносно змін компонент теплопровідності у вигляді (4). Для їх побудови необхідно розглянути деякі класи функцій, які дозволяють описувати ці компоненти. Це такі класи, як поліноміальний, експоненціальний і клас кривих з «насиченням» [6–9].

Практично також використовують і інші форми логістичної функції, наприклад:

$$y_t = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot \tau)}. \quad (5)$$

Відповідне рівняння динаміки є класична модель Ферхюльста, яка відображує феноменальні властивості складних (хаотичних) процесів:

$$\frac{dx}{d\tau} = \lambda x(1-x), \quad x = y/a, \lambda \equiv c > 0.$$

В загальному вигляді процес двостороннього жарення м'яса можливо описати за допомогою логістичної кривої, яка визначається диференціальним рівнянням вигляду:

$$\frac{dy}{d\tau} = \alpha(y - k_1)(k_2 - y), \quad (6)$$

де  $\tau$  — параметр, який в загальному вигляді виражає сукупні витрати на даний технологічний процес (витрати часу, енергії і т. п.),  $y(\tau)$  — технологічно значимий результат, що досягається даною технологією,  $\alpha$  — позитивна постійна (параметр «масштабу»),  $k_1$  і  $k_2$  — позитивні константи, що обмежують (відповідно, знизу і зверху) технологічно значимий результат функціонування даної технології. При цьому,  $k_1$  — це нижня межа  $y(\tau)$ , що виражає вихідні, вкрай низькі можливості технології, наприклад, початкове обмеження температури, а  $k_2$  — її технологічна межа, що характеризує її максимально високі можливості, наприклад, кінцеве обмеження температури.

Ця функція задовольняє диференціальне рівняння при фіксованих константах  $k_1$  і  $k_2$  ( $k_2 > k_1 > 0$ ), які відображують технологічні межі, характерні для даного технологічного укладу, так що  $k_1 < y(\tau) < k_2$  при усіх  $\tau$ :

$$\frac{dy}{d\tau} = \alpha(\tau)(y - k_1)(k_2 - y).$$

Рішенням цього рівняння є функція:

$$y(\tau) = k_1 + \frac{(k_2 - k_1)\Lambda(\tau)}{\Lambda(\tau) + \beta}, \quad (7)$$

при довільному  $\beta > 0$ , де

$$\Lambda(\tau) = \exp\left[(k_2 - k_1) \int_{\tau_0}^{\tau} \alpha(\tau) d\tau\right].$$

В моделі, що розглядається, час протікає не лінійно, а в деякому сенсі пропорційно функції  $\alpha(\tau)$ . Через це вигляд функції  $y(\tau)$  суттєво залежить від функції  $\alpha(\tau)$ . Найпростіший випадок  $\alpha(\tau) = \text{const}$  призводить до моделі технологічного здвигу Фішера-Прая. Чим менше функція  $\alpha(\tau)$  нагадує константу, тим більш нелінійно отримують розвиток події, що описуються даною моделлю.

В деяких випадках у якості  $\alpha(\tau)$  слід розглядати функцію типу імпульсу, пік якого припадає на деякий момент часу  $\tau_1 > \tau^*$ . Наприклад, функція вигляду:

$$\alpha(\tau) = \alpha / [(\tau - \tau^*) + \gamma],$$

при  $\alpha, \gamma > 0$  добре узгоджується із гіпотезою про «подвійну» хвилю заміщення технологічних укладів.

В даній моделі перший за часом підйом обумовлений логістичним характером зростання функції типу (6), тобто має ендогенну природу, а другий – викликаний локальним «стисненням» часу в момент  $\tau^*$ , тобто визначається екзогенними причинами.

**6. Обговорення результатів дослідження процесу двостороннього жарення м'яса**

Для необхідної апроксимації потрібно було дослідити динаміку розподілу температур в м'ясі свинини під час двостороннього жарення в умовах стиснення. Експериментальні дослідження проводились за наступною методикою. Для жарення за способом [10] із найдовшого м'язу свинини, придбаного в роздрібному магазині мережі «Свіжина» (м. Полтава) вирізали напівфабрикати впоперек волокон однакової геометричної форми (0,10 × 0,05 × 0,01 м), для яких визначався граничний тиск  $p_{гр}$  за методикою, наведеною в [11]. Граничний тиск складав  $p_{гр} = 12,5 \cdot 10^3$  Па. В центральну частину напівфабрикату на відстані по горизонталі 0,002 м і по вертикалі 0,001 м одну від одної установлювали 11 термопар ХК-0,5, сигнал від яких фіксували мультиметрами MASTECH M890G через кожні 4 с. Тривалість

жарення визначалась за допомогою секундоміру. Процес жарення здійснювали в апараті ПУСКУ-1 [12] до температури в центрі 72 °С при зусиллі стиснення, яке забезпечувало тиск пари в кірочках  $p = 12,4 \cdot 10^3$  Па. Експеримент проводився в п'ятикратній повторності.

При стисненні м'яса під час жарення його висота відразу зменшувалась з 0,01 м до 0,007 м. Відповідно до цього, відстань між термопарами зменшилась по висоті з 0,001 м до 0,0007 м. Результати дослідження динаміки зміни температур під час двостороннього жарення м'яса в умовах стиснення наведені в табл. 1.

Нормалізація матриці вихідних даних (табл. 1), тобто якщо  $x_{ij}$  – елементи вихідної матриці X, здійснювалась за формулою:

$$y_j = \frac{x_{ij} - x_{j,\min}}{x_{j,\max} - x_{j,\min}},$$

для кожного  $j$  (нормалізація стовбців матриці).

Результати нормалізації матриці вхідних даних, отриманих в результаті експериментальних досліджень динаміки зміни температури в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Фактична динаміка зміни температур всередині шматка м'яса при двосторонньому жаренні в умовах стиснення

№ з/п	Тривалість жарення, с	Середня температура в точці при фактичній товщині в процесі жарення, °С										
		0 мм	0,7 мм	1,4 мм	2,1 мм	2,8 мм	3,5 мм	4,2 мм	4,9 мм	5,6 мм	6,3 мм	7 мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2	4	106	48	24	17	15	15	15	17	24	48	106
3	8	106	59	35	23	18	15	18	23	35	59	106
4	12	106	66	44	29	24	21	24	29	44	66	106
5	16	106	72	54	36	32	27	32	36	54	72	106
6	20	106	77	61	45	40	34	40	45	61	77	106
7	24	106	81	67	52	46	41	46	52	67	81	106
8	28	106	85	72	59	52	47	52	59	72	85	106
9	32	106	89	76	65	60	53	60	65	76	89	106
10	36	107	91	80	70	64	58	64	70	80	92	109
11	40	107	93	82	74	68	62	68	74	82	94	110
12	44	109	95	85	77	72	66	72	77	85	96	111
13	48	111	96	87	79	74	69	74	79	87	97	113
14	52	113	97	89	81	75	71	75	81	89	98	116
15	56	115	98	90	82	77	71	77	83	90	99	118
16	60	118	99	90	83	77	72	77	84	91	100	121

Таблиця 2

Нормалізована матриця вхідних даних

Min	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Max	118	99	90	83	77	72	77	84	91	100	121	121
Час, с	0,0 мм	0,7 мм	1,4 мм	2,1 мм	2,8 мм	3,5 мм	4,2 мм	4,9 мм	5,6 мм	6,3 мм	7,0 мм	7,0 мм
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,883	0,393	0,120	0,029	0,000	0,000	0,000	0,029	0,118	0,388	0,858	0,858
8	0,883	0,524	0,267	0,118	0,048	0,000	0,048	0,116	0,263	0,518	0,858	0,858
12	0,883	0,607	0,387	0,206	0,145	0,105	0,145	0,203	0,382	0,600	0,858	0,858
16	0,883	0,679	0,520	0,309	0,274	0,211	0,274	0,304	0,513	0,671	0,858	0,858
20	0,883	0,738	0,613	0,441	0,403	0,333	0,403	0,435	0,605	0,729	0,858	0,858
24	0,883	0,786	0,693	0,544	0,500	0,456	0,500	0,536	0,684	0,776	0,858	0,858
28	0,883	0,833	0,760	0,647	0,597	0,561	0,597	0,638	0,750	0,824	0,858	0,858

Закінчення табл. 2

Min	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Max	118	99	90	83	77	72	77	84	91	100	121
Час, с	0,0 мм	0,7 мм	1,4 мм	2,1 мм	2,8 мм	3,5 мм	4,2 мм	4,9 мм	5,6 мм	6,3 мм	7,0 мм
32	0,883	0,881	0,813	0,735	0,726	0,667	0,726	0,725	0,803	0,871	0,858
36	0,893	0,905	0,867	0,809	0,790	0,754	0,790	0,797	0,855	0,906	0,887
40	0,893	0,929	0,893	0,868	0,855	0,825	0,855	0,855	0,882	0,929	0,896
44	0,913	0,952	0,933	0,912	0,919	0,895	0,919	0,899	0,921	0,953	0,906
48	0,932	0,964	0,960	0,941	0,952	0,947	0,952	0,928	0,947	0,965	0,925
52	0,951	0,976	0,987	0,971	0,968	0,982	0,968	0,957	0,974	0,976	0,953
56	0,971	0,988	1,000	0,985	1,000	0,982	1,000	0,986	0,987	0,988	0,972
60	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Графічна візуалізація нормалізованої матриці вхідних даних, тобто динаміка зміни температур в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення в нормалізованому вигляді, наведена на рис. 2.

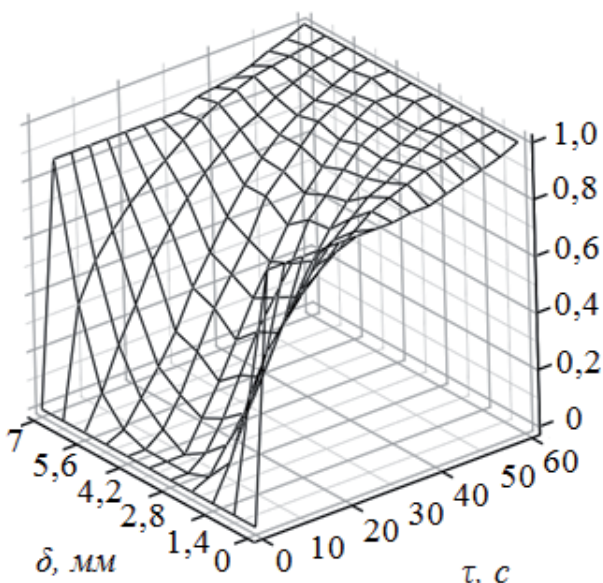


Рис. 2. Динаміка зміни температур в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення в нормалізованому вигляді

Таблиця 3

Визначення функції  $y(\tau)$  — тренду процесу теплопровідності

час, с	$b$	$b$	$b$	$b$	$b$	$b$	$b$
	1580,3	2,7	7,4	33,2	7,4	2,7	1580,3
	$c$	$c$	$c$	$c$	$c$	$c$	$c$
	5,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,3
товщина, $10^3$ м							
	0	0,7	1,4	3,5	5,6	6,3	7
0	0,001	0,271	0,120	0,029	0,120	0,271	0,001
4	1,000	0,360	0,177	0,049	0,177	0,360	1,000
8	1,000	0,459	0,255	0,080	0,255	0,459	1,000
12	1,000	0,561	0,352	0,129	0,352	0,561	1,000
16	1,000	0,658	0,463	0,201	0,463	0,658	1,000
20	1,000	0,744	0,578	0,300	0,578	0,744	1,000
24	1,000	0,814	0,685	0,421	0,685	0,814	1,000
28	1,000	0,869	0,775	0,553	0,775	0,869	1,000
32	1,000	0,909	0,845	0,678	0,845	0,909	1,000
36	1,000	0,938	0,897	0,781	0,897	0,938	1,000
40	1,000	0,958	0,932	0,859	0,932	0,958	1,000
44	1,000	0,972	0,956	0,912	0,956	0,972	1,000
48	1,000	0,981	0,972	0,946	0,972	0,981	1,000
52	1,000	0,987	0,982	0,968	0,982	0,987	1,000
56	1,000	0,992	0,989	0,981	0,989	0,992	1,000
60	1,000	0,994	0,993	0,989	0,993	0,994	1,000
СКВ	0,150	0,087	0,028	0,015	0,028	0,087	0,150

Для моделювання функції теплопровідності виконується два кроки: вибір структури і оцінка їх параметрів. При цьому використаний нелінійний метод найменших квадратів з оцінкою середньоквадратичного відхилення (СКВ).

В подальшому будувались функції  $y(\tau)$  — тренд процесу теплопровідності (або тепломасоперенесення) (табл. 3). З аналізу результатів комп'ютерної візуалізації (рис. 3) видно, що для опису цієї функції можна запропонувати логістичну криву.

Далі будувались функції  $z(\delta_m)$  — компоненти теплопровідності, що залежать тільки від товщини зразка. Для опису даної функції можна використати поліном 2-го порядку (1). Графічна візуалізація визначення функції  $z(\delta_m)$  наведено на рис. 4, а саме визначення в табл. 4.

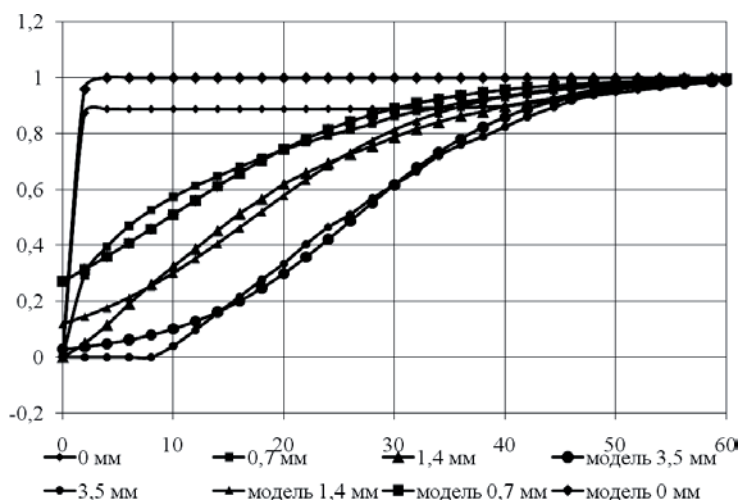


Рис. 3. Комп'ютерна візуалізація  $y(\tau)$  — тренду процесу теплопровідності

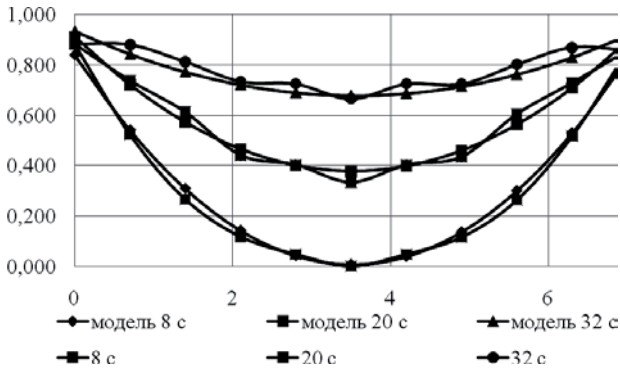


Рис. 4. Графічна візуалізація визначення функції  $z(\delta_m)$  — компоненти теплопровідності, яка залежить від товщини зразку

7. Висновки

1. За результатами проведених комп'ютерно-аналітичних досліджень експериментально визначено динаміку зміни температур в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення.
2. Проведено аналіз можливостей загального рішення рівняння нестационарної теплопровідності в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення.
3. Вперше запропоновано теплову модель процесу на основі нелінійного методу узагальненого понижуючого градієнту, який використовується для гладких нелінійних задач.

Таблиця 4

Визначення функції  $z(\delta_m)$  — компоненти теплопровідності, яка залежить від товщини зразку

Час, с	Товщина, $10^3$ м											
	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7	
8	Ряд											
	$a^2 = 0,067$				$a^1 = -0,474$				$a^0 = 0,841$			
	0,841	0,542	0,309	0,142	0,042	0,007	0,039	0,137	0,301	0,530	0,826	
20	Ряд											
	$a^2 = 0,043$				$a^1 = -0,303$				$a^0 = 0,913$			
	0,913	0,722	0,573	0,466	0,401	0,378	0,398	0,459	0,563	0,709	0,897	
32	Ряд											
	$a^2 = 0,020$				$a^1 = -0,143$				$a^0 = 0,935$			
	0,935	0,844	0,773	0,722	0,691	0,679	0,688	0,716	0,763	0,831	0,918	

Графічна 3-х-вимірна ілюстрація функції від 2-х змінних  $T(\tau, \delta_m)$  наведена на рис. 5.

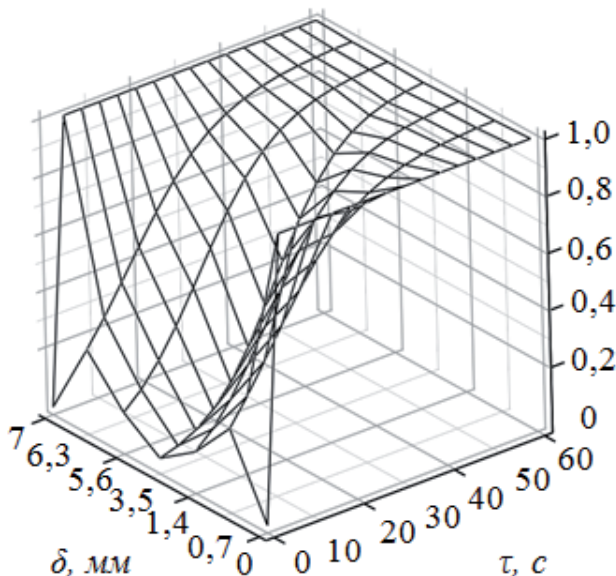


Рис. 5. 3-х-вимірна ілюстрація функції від 2-х змінних  $T(\tau, \delta_m)$  при двосторонньому жаренні м'яса в умовах стиснення

Література

1. Бражников, А. М. Теория термической обработки мясopодуктов [Текст] / А. М. Бражников. — М.: Агрoпрoмиздат, 1987. — 271 с.
2. Молчанова, Н. Ю. Аналітичне обґрунтування вдосконалення процесу жаріння м'ясних продуктів на нагрівальній поверхні [Текст] / Н. Ю. Молчанова, В. О. Дорохін, В. О. Скрипник // Науковий вісник ПУСКУ. — Полтава, 2005. — № 3(16). — С. 87–90.
3. Скрипник, В. А. Аналітичне дослідження тепломасообмінних процесів при двосторонньому жаренні в функціонально замкнутих ємкостях [Текст] / В. А. Скрипник, Н. В. Герман, Н. Ю. Молчанова // Analele Științifice ale Universității Cooperatist-Comerciale din Moldova/MOLDCOOP. — Chișinău: USSM, 2013. — 2013. — Vol. XII. — P. 198–202.
4. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики [Текст] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. — М.: Наука, 1977. — 735 с.
5. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики [Текст] / В. С. Владимиров. — М.: Наука, 1981. — 512 с.
6. Михайлов, В. М. Наукове обґрунтування і розробка прогресивних процесів та обладнання для виробництва жарених кулінарних виробів [Текст]: дис. ... док. техн. наук.: 05.18.12 / Михайлов Валерій Михайлович. — Харків, 2003. — 371 с.
7. Рамазанов, С. К. Динамическая нелинейная управляемая модель эффективности развития в сложных интегральных системах [Текст] / С. К. Рамазанов // Матеріали V Міжнародної науково-методичної конференції «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід», 2–3 жовтня 2014 року, м. Львів. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2014. — С. 30–32.
8. Рамазанов, С. К. Микро- і макромоделі еколого-економічної і соціогуманитарної динаміки: огляд, аналіз

и некоторые результаты. Моделирование и информационные технологии в исследовании социально-экономических систем: теория и практика [Текст]: монография / С. К. Рамазанов, А. В. Велигура, М. В. Ивановская, А. В. Сергиенко; под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебановой. — Бердянск, 2014. — 604 с.

9. Рамазанов, С. К. Проблема создания интегрированной автоматизированной системы оценки и управления процессами жизненного цикла [Текст] / С. К. Рамазанов, А. В. Велигура, М. В. Ивановская // Збірник Наукових праць V Міжнародної НПК, 31 березня – 07 квітня 2014 р., м. Лондон (Англія). — Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. — 132 с.
10. Спосіб двостороннього жаріння м'яса і м'ясопродуктів під осьовим тиском [Текст]: Патент України № 36799, МКВ А 22 С 18/00 / Дорохін В. О., Шеляков О. П., Скрипник В. О. — № 2000020729; заявл. 10.02.00; опубл. 15.06.04; Бюл. № 6. — 6 с.
11. Скрипник, В. О. Дослідження процесу та вдосконалення обладнання для двостороннього жаріння м'яса під осьовим тиском [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: спец. 05.18.12 / В. О. Скрипник. — Х., 2002. — 18 с.
12. Дорохін, В. О. Теплове обладнання підприємств харчування [Текст]: підручник / В. О. Дорохін, Н. В. Герман, О. П. Шеляков. — Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. — 583 с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДВУХСТОРОННЕГО ЖАРЕНИЯ МЯСА НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Проведено комп'ютерне аналітичне дослідження динаміки розподілу температур в м'ясі свинини во время двостороннього жаріння в умовах сжатия. Проаналізовані можливості загального рішення рівняння нестационарної теплопроводності при двосторонньому жарінні м'яса в умовах сжатия. Для рішення запропоновано використовувати нелінійний метод обобщенного понижающего градиента, який використовується для гладких нелінійних задач, з допомогою оптимізаційної програми, встроєної в MS Excel.

**Ключевые слова:** двухстороннее жаренье, мясо, модель динамики, нелинейная оптимизация, теплопроводность.

**Рамазанов Султан Курбанович**, доктор економічних наук, доктор технічних наук, професор, кафедра економічної кібернетики, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: SRamazanov@i.ua.  
**Скрипник Вячеслав Александрович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: skrypnyk\_v\_a@ukr.net.

**Молчанова Наталя Юрївна**, кандидат технічних наук, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: nemonn@ukr.net.

**Рамазанов Султан Курбанович**, доктор економічних наук, доктор технічних наук, професор, кафедра економічної кібернетики, Вищеє навчальне заведення Укоопсоюзу «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна.

**Скрипник Вячеслав Александрович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі, Вищеє навчальне заведення Укоопсоюзу «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна.  
**Молчанова Наталя Юрївна**, кандидат технічних наук, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі, Вищеє навчальне заведення Укоопсоюзу «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна.

**Ramazanov Sultan**, Higher Educational Institution of Ukoop-spilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: SRamazanov@i.ua.

**Skrypnyk Viacheslav**, Higher Educational Institution of Ukoop-spilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: skrypnyk\_v\_a@ukr.net.

**Molchanova Natalya**, Higher Educational Institution of Ukoop-spilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: nemonn@ukr.net

УДК:619:612.015.636.2.085

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44170

Паска М. З.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ М'ЯСА ОТРИМАНОГО ВІД БУГАЙЦІВ ПОЛІСЬКОЇ М'ЯСНОЇ ПОРОДИ РІЗНИХ ТИПІВ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

В роботі отримані дані щодо співвідношення та вмісту основних поживних речовин, біологічної цінності м'яса, його технологічних властивостей, які вказують на те, що м'ясо бугайців різних типів вищої нервової діяльності характеризується оптимальним хімічним складом, а також високою повноцінністю білків, що повністю відповідає потребам споживачів.

**Ключові слова:** м'ясо, бугайці, поліська м'ясна порода, типи вищої нервової діяльності, м'ясна продуктивність.

### 1. Вступ

Вивчення механізмів формування м'ясної продуктивності тварин та біосинтезу складових частин м'яса, вивчення ролі різних перетворень речовин, які відбуваються в організмі в цілому, дозволяє виробити на цій основі нові наукові підходи в селекції і технології інтенсивного вирощування тварин [1–3]. Дослідженнями встановлено, що продуктивні і племінні якості тварин зумовлюються

рівнем біохімічних процесів в організмі [4, 5]. Одним із важливих питань підвищення м'ясної продуктивності великої рогатої худоби є з'ясування білокінетичних механізмів формування м'язової тканини. Очевидно, генетичний потенціал є найважливішим чинником у переліку багатьох факторів, що впливають на здатність молодняку великої рогатої худоби синтезувати більше тканин тіла. Синтезуюча здатність до нарощування м'яса та його складових (білку, жиру) з розрахунку на 100 кг