

Черевко О. І.,  
Скрипник В. О.,  
Молчанова Н. Ю.,  
Фарісєєв А. Г.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ЖАРЕННІ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

*Досліджено теплопередачу в поверхневому шарі під час другої стадії процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму. Розраховані коефіцієнт теплопередачі від поверхонь жарення до напівфабрикату, співвідношення між діаметром капіляру і тривалістю здійснення циклу випарування, раціональна питома поверхнева потужність поверхонь жарення і тривалість другої стадії процесу.*

**Ключові слова:** двостороннє жарення, теплопередача, парові прошарки, м'ясо, електричний струм.

### 1. Вступ

М'ясні жарені вироби традиційно є найбільш розповсюдженими стравами в закладах ресторанного господарства, приготування яких, зазвичай, супроводжується значними витратами енергоносія та втратами готового продукту. Підвищення енергетичної ефективності технологічних процесів та обладнання для теплового оброблення м'яса та м'ясопродуктів є актуальною науковою задачею, вирішення якої можливе за рахунок впровадження нових прогресивних технологій.

Двостороннє жарення м'яса під дією електричного струму є нестационарним тепловим процесом, кінцевою метою якого є отримання готового продукту з певними органолептичними властивостями, і який супроводжується складним перенесенням теплоти в поверхневому шарі через наявність випарування води, яка міститься в м'ясі. Вивчення механізму передачі теплоти в поверхневих шарах продукту є необхідною умовою удосконалення та розробки нового енерго- та ресурсозберігаючого обладнання.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Двостороннє жарення м'яса під дією електричного струму, на відміну від традиційного, має певні особливості через постійне виведення рідини в поверхневі шари з частотою 0,5 Гц [1], що позитивно впливає на якість і безпечність готових виробів. Через таку організацію процесу жарення і його незначну тривалість відсутні умови утворення гетероциклічних амінів [2] в кірочках просмажування.

Згідно з даними авторів [3] процес двостороннього жарення м'яса можна умовно поділити на три основних стадії, кожна з яких відрізняється своїми характерними особливостями. Перша стадія є найбільш нетривалою у часі і характеризує прогрівання поверхневих шарів продукту до температури випарування води. Під час другої стадії продукт отримує найбільшу частину теплоти, що

використовується на випаровування вологи, при цьому передача теплоти здійснюється через парові прошарки. Тривалість другої стадії визначається досягненням температури внутрішніх шарів напівфабрикату близько 65...70 °С, коли закінчуються теплові перетворення білків [4], а м'ясо набуває властивостей, притаманних твердому тілу. Органолептичні показники готових виробів забезпечуються тривалістю третьої стадії, збільшуючи її можна досягати більшого ступеня просмажуваності поверхневих шарів. Тривалість третьої стадії, в більшій мірі, визначає вихід готового продукту, оскільки, за даними автора [5], кулінарна готовність для виробів зі свинини настає при температурі в центрі шматка 70...72 °С. Перевищення даної температури призводить до істотного зменшення виходу готового продукту [6].

Процеси кипіння і випарування є досить розповсюдженими і мають достатню теоретичну основу, але передача теплоти через парові прошарки в умовах двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму потребує додаткового вивчення.

### 3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

*Об'єкт дослідження* — процес двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму.

*Мета роботи* — визначити величину коефіцієнта теплопередачі до напівфабрикату з м'яса свинини при двосторонньому жаренні під дією електричного струму під час другої стадії жарення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити механізм теплопередачі в поверхневих шарах м'яса під час двостороннього жарення під дією електричного струму.

2. Дослідити процеси, які відбуваються в менісках капілярів м'яса під час двостороннього жарення під дією електричного струму.

3. Визначити коефіцієнт теплопередачі під час двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму.

4. Визначити теоретичну тривалість процесу двостороннього жарення м'яса свинини під дією електричного струму.

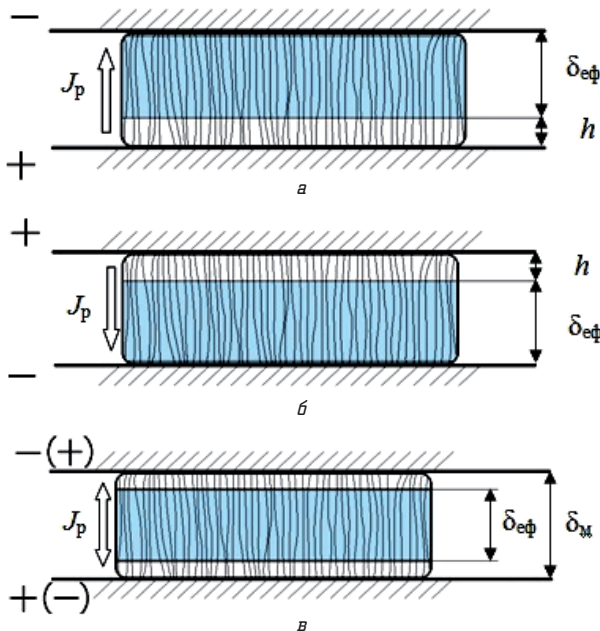
**4. Результати досліджень теплопередачі під час двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму**

Як свідчать джерела [7, 8] в капілярно-пористих тілах під дією різниці потенціалів виникає потік речовини, величина якого залежить від фізико-хімічних властивостей цих тіл. Використання різниці потенціалів змінної частоти при двосторонньому жаренні м'яса за умови утворення всередині шматка потоку речовини

$$J_p = \frac{V_p}{S_m \cdot \tau}$$

через перетин м'яса  $S_m$  в одиницю часу  $\tau$ , дозволить значно скоротити тривалість процесу і, як наслідок, підвищити вихід готового продукту.

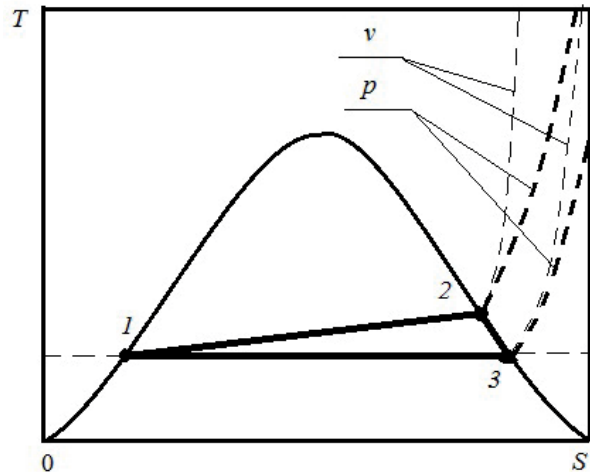
За таких умов пара в кожній з кірочок просмажування, яка утворюється внаслідок дії теплового потоку від нагрівачів  $Q$ , почне відігравати роль проміжного теплоносія: спочатку буде здійснюватись випарування води з поверхонь менісків капілярів і утворення надлишкового тиску пари за рахунок зусилля стиснення, а в м'ясі утворюється ефективний шар рідини (м'ясного соку), значно менший за товщину м'яса (рис. 1, в). Теплопровідність ефективного шару рідини значно вище теплопровідності м'яса і, практично дорівнює теплопровідності м'ясного соку.



**Рис. 1.** Схема виникнення ефективної товщини м'яса при двосторонньому жаренні під дією електричного струму (електроосмосу): а, б — рух речовини (рідини) залежно від полярності електричного струму; в — порівняння ефективної товщини м'яса  $\delta_{\text{еф}}$  з фактичною товщиною  $\delta_m$

Пояснити сутність процесів, які відбуваються в меніску кожного із капілярів м'яса при двосторонньому жаренні під дією електричного струму, досить зручно можна за допомогою  $T-S$ -діаграми для водяної пари, схема яких наведена на рис. 1.

При підході рідини до верхньої поверхні (рис. 1, а) в менісках капілярів починає здійснюватись термодинамічний цикл 1-2-3 при тиску пари, що забезпечується вагою верхньої поверхні жарення (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема термодинамічного циклу водяної пари в меніску капіляра в поверхневому шарі виробу під час жарення в  $T-S$ -діаграмі

Кількість теплоти, яку при цьому отримує рідина в кожному з менісків капілярів від поверхні жарення, Дж:

$$Q = \frac{(i_2 - i_1) \cdot \bar{V}_n}{(v_2 - v_1)}$$

де  $i_2, i_1$  — ентальпія пари в точках циклу 2 і 1, Дж/кг;  $v_2, v_1$  — питомий об'єм пари в точках циклу 2 і 1, м<sup>3</sup>/кг;  $\bar{V}_n$  — середній об'єм пари в меніску капіляра в процесі випарування, м<sup>3</sup>:

$$\bar{V}_n = \frac{\pi \cdot d_k^3}{24}$$

$d_k$  — діаметр капіляра, м.

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні жарення до рідини на поверхні меніска при випаруванні  $\alpha_1$  буде дорівнювати, Вт/(м<sup>2</sup>·°C):

$$\alpha_1 = \frac{Q_{1-2}}{F^c \cdot (T_n^c - T_p^c) \cdot \tau_v}$$

де  $F^c$  — середньоінтегральна площа поверхні меніска під час випарування, м<sup>2</sup>;

$$F^c = \frac{F_{\text{max}} - F_{\text{min}}}{\ln \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{min}}}} = 1,1331 \cdot d_k^2$$

$F_{\text{min}}$  — мінімальна поверхня меніска капіляра, м<sup>2</sup>; через виведення рідини в поверхневий шар внаслідок стиснення:

$$F_{\text{min}} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}$$

$F_{\max}$  — максимальна поверхня меніска капіляра,  $m^2$ :

$$F_{\max} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{2};$$

$T_p^c$  — середньоінтегральна температура поверхні жарення на протязі процесу 1-2,  $^{\circ}C$ ;  $T_k^c$  — середньоінтегральна температура рідини на поверхні меніска на протязі процесу 1-2,  $^{\circ}C$ ;  $\tau_b$  — тривалість випарування (процесу 1-2).

Рідина поверхні меніска при конденсації (схлопуванні) (процес 3-1) в капілярі отримує наступну кількість теплоти, Дж:

$$Q_{3-1} = \frac{(i_3 - i_1) \cdot \bar{V}_n}{(v_3 - v_1)},$$

де  $v_3, v_1$  — питомий об'єм пари в точках 3 і 1 циклу,  $m^3/kg$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини поверхні меніска  $\alpha_2$  буде дорівнювати,  $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ :

$$\alpha_2 = \frac{Q_{3-1}}{F^c \cdot (T_k - T_p) \cdot \tau_k},$$

де  $T_k$  — температура пари в меніску на протязі процесу 3-1,  $^{\circ}C$ ;  $T_p$  — температура рідини поверхні меніска на протязі процесу 3-1,  $^{\circ}C$ ;  $\tau_k$  — тривалість конденсації (процесу 3-1).

Коефіцієнт теплопередачі від поверхні жарення до рідини поверхні меніска на протязі одного термодинамічного циклу,  $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{F^c \cdot (T_p^c - T_p^c) \cdot \tau_b}{Q_{1-2}} + \frac{F^c \cdot (T_k - T_p) \cdot \tau_k}{Q_{3-1}}} = \frac{\bar{V}_n}{F^c \cdot \left( \frac{(T_p^c - T_k) \cdot (v_2 - v_1) \cdot \tau_b}{(i_2 - i_1)} + \frac{(T_k - T_p) \cdot (v_3 - v_1) \cdot \tau_k}{(i_3 - i_1)} \right)}$$

Після конденсації пари (схлопування меніска) в периферійному капілярі із сусіднього з периферійним меніска відбувається проривання в нього пари внаслідок різниці надлишкового тиску. Периферійний меніск внаслідок цього отримує кількість теплоти  $Q_{2-3}$ , і після досягнення надлишкового тиску  $p$  внаслідок подальшого випарування рідини з поверхні меніску транзитом скидається в навколишнє середовище. Таким чином, вже після першого циклу як в периферійному, так і в усіх інших капілярах  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ , а коефіцієнт теплопередачі від поверхні жарення до рідини поверхні меніска буде

дорівнювати  $k = \frac{\alpha}{2}$ , або,  $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ :

$$k = \frac{Q_{3-1}}{2 \cdot F^c \cdot (T_p^c - T_p^c) \cdot \tau_{ци}} = \frac{(i_3 - i_1) \cdot \bar{V}_n}{2 \cdot F^c \cdot (T_p^c - T_p^c) \cdot \tau_{ци} \cdot (v_3 - v_1)} =$$

$$= \frac{(i_3 - i_1) \cdot \pi \cdot d_k^3}{48 \cdot 1,1331 \cdot d_k^2 \cdot (T_p^c - T_p^c) \cdot (v_3 - v_1) \cdot \tau_{ци}} = \frac{0,05776 \cdot (i_3 - i_1) \cdot d_k}{(T_p^c - T_p^c) \cdot (v_3 - v_1) \cdot \tau_{ци}} = \frac{0,05776 \cdot r \cdot d_k}{\Delta T^c \cdot \Delta v \cdot \tau_{ци}} \quad (1)$$

де  $r$  — повна теплота конденсації пари при атмосферному тиску, Дж/кг;  $\Delta v$  — зміна (зменшення) питомого об'єму пари при повній конденсації при атмосферному тиску,  $m^3/kg$ ;  $\tau_{ци}$  — тривалість термодинамічного циклу, с.

В менісках м'яса біля нижньої поверхні відбувається постійне інтенсивне випарування пари за рахунок не тільки дії теплового потоку від нагрівача, але і за рахунок дії електричного струму. Схлопування менісків біля верхньої поверхні жарення призводить до різкого розширення пари в менісках біля нижньої поверхні і, як наслідок, її конденсацію на поверхнях менісків. Фактично відбувається аналогічний термодинамічний цикл 1-2-3.

При зміні полярності аналогічні процеси відтворюються з точністю до навпаки.

З формули (1) випливає, що коефіцієнт теплопередачі прямопропорційно залежить від співвідношення  $d_k/\tau_{ци}$ .

Середньоінтегральна різниця температур  $\Delta \bar{T}_c$  (середньо-інтегральний температурний напір) в процесі жарення залежить від питомої поверхневої потужності поверхні жарення. Очевидно, що зменшення питомої поверхневої потужності поверхні жарення призведе до зменшення  $\Delta \bar{T}_c$ , і, навпаки, збільшення питомої поверхневої потужності призведе до збільшення  $\Delta \bar{T}_c$ . Можна стверджувати, що для забезпечення здійснення термодинамічних циклів під час другої стадії при сталій різниці  $\Delta \bar{T}_c$  необхідна питома поверхнева потужність кожної поверхні жарення складе,  $Вт/m^2$ :

$$P_{\text{пит}} = k \cdot \Delta \bar{T}_c = \frac{0,05776 \cdot r \cdot d_k}{\Delta v \cdot \tau_{ци}} \quad (2)$$

При відомих питомій поверхневій потужності  $P_{\text{пит}}$ , середньо-інтегральній різниці температур  $\Delta \bar{T}_c$  і тривалості термодинамічного циклу  $\tau$  з формули (2) діаметр капіляру складе [8], м:

$$d_k = \frac{P_{\text{пит}} \cdot \Delta v \cdot \tau}{0,05776 \cdot r} = \frac{17,3125 \cdot P_{\text{пит}} \cdot \Delta v \cdot \tau_{ци}}{r} \quad (3)$$

Для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha$ , теплопередачі  $k$  за формулою (2), тривалості першої та другої стадії жарення  $\tau$ , необхідної питомої поверхневої потужності  $P_{\text{пит}}$ , співвідношення  $d_k/\tau_{ци}$  і діаметрів капілярів  $d_{ki}$  за формулою (3) в процесі жарення необхідно визначити тривалості термодинамічних циклів  $\tau_{ци}$  та середньоінтегральну різницю температур  $\Delta \bar{T}_c$  (середньо-інтегральний температурний напір).

## 5. Обговорення результатів дослідження коефіцієнту теплопередачі під час двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму та теоретичної тривалості процесу

Безпосередньо визначити тривалість термодинамічного циклу  $\tau$  в кожному окремому капілярі практично

неможливо. Побічно її можна визначити із спектрограми частот звуку при жаренні. Авторами статті було проведено запис звуку при двосторонньому жаренні м'яса під дією електричного струму з раціональними параметрами [1] при питомій поверхневій потужності кожної поверхні жарення 38500 Вт/м<sup>2</sup>, а отриманий файл у форматі mp3 аналізувався за допомогою програми Spectrum Player.

Програма Spectrum Player дозволяє розкласти звук на частоти не лише у даний момент часу, але і на певному його відрізьку.

Скріншоти розподілу звуку за частотами в процесі двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму в програмі Spectrum Player наведено на рис. 3.

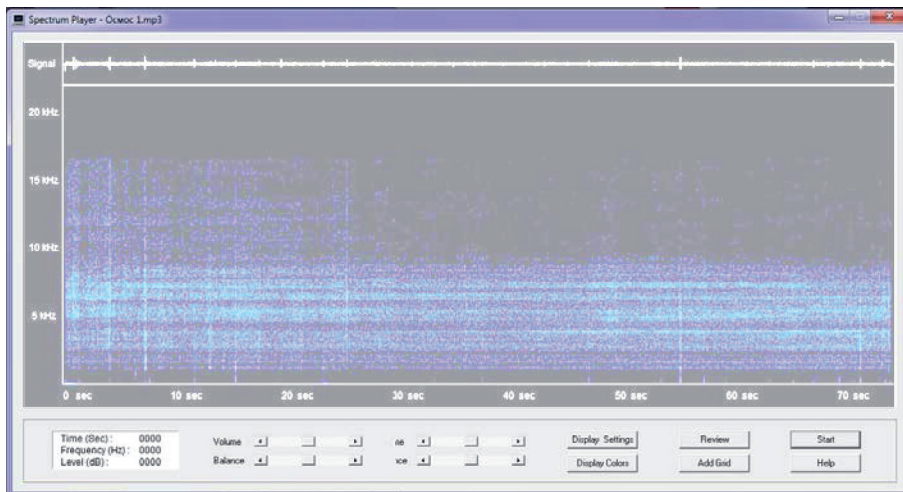


Рис. 3. Скріншот розподілу звуку за спектром частот в процесі двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму в програмі Spectrum Player

Як видно з рис. 3, звук за спектром частот при двосторонньому жаренні розподіляється на 4 основних піддіапазони: 2,5...4 кГц, 4,5...6 кГц, 6,5...7,5 кГц, 8...9 кГц, що, очевидно, відповідає 4-м групам за діаметром капілярів 122·10<sup>-6</sup>...195·10<sup>-6</sup> м, 81·10<sup>-6</sup>...108·10<sup>-6</sup> м, 65·10<sup>-6</sup>...75·10<sup>-6</sup> м, 54·10<sup>-6</sup>...60·10<sup>-6</sup> м, а тривалість термодинамічних циклів в капілярах складає від 111·10<sup>-6</sup> до 400·10<sup>-6</sup> с.

Коефіцієнт теплопередачі за наведених умов при середньоінтегральній різниці температур (температурному напорі)  $\Delta T_c = 8$  °С, співвідношенні  $d_k/\tau = 0,488$  м/с,  $\Delta v = 1,653$  м<sup>3</sup>/кг складає  $k = 4813$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків в кожному з двох поверхневих шарів складає  $\alpha_2 = 2 \cdot k = 9626$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Відповідно до цього, загальний коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків складає  $\alpha = 19252$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Коефіцієнт теплопровідності найдовшого м'язу свинини нежирної при 20 °С при атмосферному тиску складає  $\lambda_{m0} = 0,54$  Вт/(м·°С) [9]; м'ясного соку за тих же умов —  $\lambda_p = 0,645$  Вт/(м·°С) [10].

В умовах дії електричного струму в зв'язку з виникненням ефективного шару рідини (м'ясного соку) коефіцієнт теплопровідності м'яса наближається до  $\lambda_m = 0,645$  Вт/(м·°С). Густина м'яса в умовах стиснення  $\rho = 960$  кг/м<sup>3</sup>; теплоємність рідини  $c = 4000$  Дж/(кг·°С). Коефіцієнт температуропровідності м'яса в процесі нагрівання до 72 °С

$$a = \frac{0,645}{4000 \cdot 960} = 16,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Критерій Біо складає для першої стадії процесу жарення:

$$Bi = \frac{19252 \cdot 0,000093}{0,645} = 2,8,$$

де 0,000093 м — радіус найбільшого капіляру в поверхневому шарі м'яса; для подальшого жарення:

$$Bi = \frac{19252 \cdot 0,0035}{0,645} = 104,5,$$

де 0,0035 м — напівтовщина ефективного шару рідини при жаренні під дією електричного струму.

Тривалість першої стадії жарення від початкової температури м'яса 20 °С до температури поверхневого шару 100 °С за товщиною, аналогічною найбільшому радіусу найбільшого капіляру при  $\rho = 0$ , визначається з рівняння [11]:

$$Fo^{(0)} = \frac{1}{12} + \frac{1}{3 \cdot 2,8} - \frac{2}{3 \cdot 2,8^2} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot 2,8 \right] = 0,128.$$

Тоді

$$Fo^I = \frac{2,8 + 3}{3 \cdot 2,8} \ln \left( \frac{2 \cdot (150 - 20)}{(2,8 + 2) \cdot (110 - 100)} \right) + 0,128 = 1,33.$$

Звідки тривалість першої стадії жарення:

$$\tau_I = \frac{1,33 \cdot 0,000093^2}{16,8 \cdot 10^{-8}} = 0,068 \text{ с}.$$

Критерій Фур'є для другої стадії:

$$Fo^{(0)} = \frac{1}{12} + \frac{1}{3 \cdot 104,5} - \frac{2}{3 \cdot 104,5^2} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot 104,5 \right] = 0,086,$$

$$Fo^{II} = \frac{1}{3} \ln \left( \frac{104,5 \cdot (110 - 101) \cdot 0}{2 \cdot (100 - 72)} \right) + 0,086 = 1,062.$$

Звідки тривалість другої стадії жарення:

$$\tau_{II} = \frac{1,062 \cdot 0,0035^2}{16,8 \cdot 10^{-8}} = 77,43 \text{ с}.$$

Отже, теоретична тривалість процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму до температури в центрі 72 °С складає:

$$\tau_0 = 0,068 + 77,43 = 77,5 \text{ с.}$$

Розраховані дані цілком збігаються з даними процесу, наведеними на рис. 2.

## 6. Висновки

За результатами роботи для м'яса свинини для процесу двостороннього жарення під дією електричного струму:

1) встановлено механізм теплопередачі в поверхневих шарах м'яса та запропоновано методику розрахунку коефіцієнта теплопередачі через парові прошарки під час двостороннього жарення під дією електричного струму;

2) за допомогою звукового експерименту визначено тривалість циклів випарування в менісках капілярів різного діаметру, яка складає від  $111 \cdot 10^{-6}$  до  $400 \cdot 10^{-6}$  с, що відповідає діаметру капілярів в поверхневому шарі м'яса від  $54 \cdot 10^{-6}$  до  $122 \cdot 10^{-6}$  м;

3) розраховано коефіцієнт теплопередачі від однієї і двох поверхонь жарення до виробу та встановлено його залежність від питомої поверхневої потужності поверхонь жарення;

4) теоретично розраховано тривалість процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму, яка збігається з фактичною.

## Література

- Спосіб жарення м'яса [Текст]: пат. України 105398 С2, МПК А23L 1/01, А23L 1/025, А47J 37/00 / Черевко О. І., Скрипник В. О., Фарісеєв А. Г. — № а 2012 04451; заявл. 09.04.12; опубл. 12.05.14, Бюл. № 9. — 6 с.
- Ngadi, M. O. Modelling heat transfer and heterocyclic amines formation in meat patties during frying [Electronic resource] / M. O. Ngadi, D-K. Hwang // Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. — 2007. — Manuscript BC 04 004. — Vol. IX. — Available at: \www/URL: http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/10642
- Скрипник, В. А. Аналитическое исследование тепломассообменных процессов при двустороннем жаренье в функционально замкнутых емкостях [Текст] / В. А. Скрипник, Н. В. Герман, Н. Ю. Молчанова // Analele Științifice ale Universității Cooperatist-Comerciale din Moldova/MOLDCOOP. — Chișinău: USSM, 2013. — Vol. XII. — P. 198–202.
- Месхи, А. И. Биохимия мяса, мясопродуктов и птицепродуктов [Текст] / А. И. Месхи. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 280 с.
- Яремаченко, М. А. Технологический режим и основные параметры жарения мяса крупным куском [Текст] / М. А. Яремаченко // Общественное питание. — 1975. — № 11. — С. 102–104.
- Железняк, К. Д. Исследование пищевой ценности некоторых блюд из жареной говядины [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.18.16 / К. Д. Железняк. — М., 1980. — 23 с.
- Иваницкий, Б. Г. Экспериментальное исследование электроосмотического массопереноса [Текст]: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.: спец. 01.04.15 / Б. Г. Иваницкий. — К., 1973. — 28 с.
- Антропов, Л. И. Теоретическая электрохимия [Текст]: учеб. / Л. И. Антропов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1984. — 519 с.
- Гинзбург, А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская, В. С. Уколов. — М.: Пищевая пром-сть, 1975. — 224 с.

- Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и гиджестей [Текст]: справочник / Н. Б. Варгафтик. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
- Бражников, А. М. Теория термической обработки мясопродуктов [Текст] / А. М. Бражников. — М.: Агропромиздат, 1987. — 270 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МЯСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ДВУХСТОРОННЕМ ЖАРЕНИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Исследована теплопередача в поверхностном слое во время второй стадии процесса двухстороннего жарения мяса под воздействием электрического тока. Рассчитаны коэффициент теплопередачи от жарочных поверхностей к полуфабрикату, соотношение между диаметром капилляра и продолжительностью одного цикла испарения, рациональная удельная поверхностная мощность жарочных поверхностей и продолжительность второй стадии процесса.

**Ключевые слова:** двустороннее жарение, теплопередача, паровые прослойки, мясо, электрический ток.

**Черевко Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой процессов, аппаратов и автоматизации харчових виробництв, Харківський державний університет харчування і торгівлі, Україна, e-mail: [hduht@kharkov.com](mailto:hduht@kharkov.com).

**Скрипник Вячеслав Александрович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологического оборудования харчових виробництв і торгівлі, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: [skrypnyk\\_v\\_a@ukr.net](mailto:skrypnyk_v_a@ukr.net).

**Молчанова Наталья Юрьевна**, кандидат технических наук, кафедра технологического оборудования харчових виробництв і торгівлі, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: [nemonn@ukr.net](mailto:nemonn@ukr.net).

**Фарісеєв Андрій Геннадійович**, кандидат технических наук, кафедра технологического оборудования харчових виробництв і торгівлі, Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», Україна, e-mail: [fariseev\\_a\\_g@mail.ru](mailto:fariseev_a_g@mail.ru).

**Черевко Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.

**Скрипник Вячеслав Александрович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологического оборудования пищевых производств и торговли, Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли», Украина.

**Молчанова Наталья Юрьевна**, кандидат технических наук, кафедра технологического оборудования пищевых производств и торговли, Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли», Украина.

**Фарісеєв Андрій Геннадійович**, кандидат технических наук, кафедра технологического оборудования пищевых производств и торговли, Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли», Украина.

**Cherevko Oleksandr**, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine, e-mail: [hduht@kharkov.com](mailto:hduht@kharkov.com).

**Skrypnyk Vyacheslav**, Higher Educational Institution of Ukoopspilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: [skrypnyk\\_v\\_a@ukr.net](mailto:skrypnyk_v_a@ukr.net).

**Molchanova Natalya**, Higher Educational Institution of Ukoopspilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: [nemonn@ukr.net](mailto:nemonn@ukr.net).

**Farisyeyev Andriy**, Higher Educational Institution of Ukoopspilka «Poltava University of Economics and Trade», Ukraine, e-mail: [fariseev\\_a\\_g@mail.ru](mailto:fariseev_a_g@mail.ru).