

3. Плевако В. П. Визначення форми рефлектора для рівномірного обігріву плоскої поверхні / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Праці НУ «Львівська політехніка». – Л., 2003. – С. 191–194.

4. Плевако В. П. Визначення форми рефлектора сушарки, яка забезпечує заданий розподіл тепла на робочій поверхні / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко, Ю. М. Тормосов // Геометричне та комп'ютерне моделювання / ХДУХТ. – Х., 2006. – № 15. – С. 11–18.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.

© Л.В. Кіптела, С.Ю. Саєнко, А.М. Загорулько, О.С. Мольський, 2013.

УДК 641.526.7

В.М. Михайлов, д-р техн. наук

І.В. Бабкіна, канд. техн. наук

А.О. Шевченко, асист.

В.І. Лук'янов, магістрант

МОДЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ЖАРЕННЯ КУЛІНАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ НАГРІВАННЯМ

Подано результати моделювання процесу комбінованого жарення кулінарної продукції з використанням електроконтактного нагрівання. Доведено можливість інтенсифікації теплової обробки в умовах одночасного електроконтактного та двобічного нагрівання.

Представлены результаты моделирования процесса комбинированного жарения кулинарной продукции с использованием электроконтактного нагрева. Доказана возможность интенсификации тепловой обработки в условиях одновременного электроконтактного и двухстороннего нагрева.

Presented the results of the modeling of combined frying of culinary products using of electric contact heating. Proved the possibility of intensification of heat treatment in conditions of simultaneous double and electric contact heating.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз виробництва жареної кулінарної продукції дозволив встановити основні недоліки та проблемні питання відповідних технологічних процесів. Так, тривалість жарення кулінарної продукції становить від 7...10 до 90...120 хв, питомі витрати теплоти складають 1000...1300 кДж/кг. Традиційне обладнання, що використовується на

підприємствах ресторанного господарства, характеризується низьким ККД, великою тривалістю виходу на стаціонарний режим. У наслідок цього виробництво жареної кулінарної продукції є малоефективними і потребують удосконалення, що можливе шляхом застосування комбінованих процесів на основі електроконтактного нагрівання (ЕКН).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ЕКН характеризується перетворенням електричної енергії в теплову безпосередньо в провідному середовищі. Отримання при цьому внутрішньої енергії за всім об'ємом продукту є важливою перевагою методу [1; 2].

У більшості праць [3–5] пропонується застосування ЕКН для знищення бактеріальних спор та створення асептичних умов у харчових системах. Стосовно нагрівання електричним струмом різноманітних овочів та фруктів у праці [6] автор ділиться досвідом ЕКН свіжих коренів моркви, що дозволяє покращити колір та структуру тканин продукту. Автори праці [7] здійснювали ЕКН лимонного соку, що дозволило запропонувати модель, яка може бути корисною для проектування та управління процесом стерилізації. У той же час ЕКН недостатньо досліджений стосовно процесів теплової обробки жарених кулінарних виробів.

Мета та завдання статті. Метою роботи є моделювання процесу комбінованого жарення кулінарної продукції з використанням електроконтактного нагрівання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення інтенсифікації процесу термообробки під час комбінування поверхневого, ІЧ-нагрівання та ЕКН здійснювалось на прикладі розрахунку тривалості процесу запікання напівфабрикату на основі м'ясного фаршу. Теплові розрахунки виконано для двох випадків:

- 1) контрольний – за двобічного підведення теплової енергії – знизу (від нагрівальної поверхні) та зверху (від ІЧ-нагрівачів);
- 2) дослідний – за умов комбінування двобічного підведення теплової енергії – знизу (від нагрівальної поверхні) та зверху (від ІЧ-нагрівачів) з ЕКН.

Для розрахунків прийнято такі вихідні дані:

- геометричні параметри напівфабрикату: довжина – 0,1 м, ширина – 0,05 м, висота – 0,025 м;
- маса напівфабрикату – 0,125 кг;
- середня питома електропровідність напівфабрикату – $2,5 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$;
- початкова температура напівфабрикату – 20°C ;
- кінцева температура внутрішнього шару виробу – 80°C , скоринки – 115°C .

Припустимо, що під час запікання частка загальної енергії $Q_{заг.}$, що корисно використовується, витрачається на нагрівання внутрішніх шарів продукту $Q_{вн.}$ та нагрівання поверхневого шару з формуванням на його основі скоринки $Q_{ск.}$, тобто

$$Q_{заг.} = Q_{вн.} + Q_{ск.}, \text{ Дж.} \quad (1)$$

Кожну складову цього рівняння можна надати у вигляді суми енергії на нагрівання продукту Q_n та випаровування вологи $Q_{вип.}$, що визначаються з виразів:

$$Q_n = k \cdot G \cdot c \cdot \Delta t, \text{ Дж,} \quad (2)$$

де k – частка продукту від загальної маси напівфабрикату;

G – маса напівфабрикату, кг;

c – середня питома теплоємність напівфабрикату, Дж/(кг·К);

Δt – різниця температур, °С;

$$Q_{вип.} = k \cdot G \cdot x \cdot r, \text{ Дж,} \quad (3)$$

де x – кількість випареної вологи від початкової маси напівфабрикату;

r – скрита теплота пароутворення, Дж/кг.

Визначимо потрібну кількість теплоти для нагрівання внутрішніх шарів. Для цього приймаємо, що їх частка складає 80% від загальної маси, тобто $k = 0,8$. Різниця температур початкової ($t_0 = 20^\circ \text{C}$) та кінцевої ($t_1 = 80^\circ \text{C}$) складає $\Delta t = t_1 - t_0 = 80 - 20 = 60^\circ \text{C}$. За середньої при цьому температури 50°C прихована теплота пароутворення r складає $2382,2 \cdot 10^3$ Дж/кг. Середню питому теплоємність (за вологовмісту продукту 59 %) приймаємо $c = 3157$ Дж/(кг·°С). Кількість випареної вологи від початкової маси – 15%.

Згідно з розрахунками за рівняннями (2) та (3) $Q_n = 18,9 \cdot 10^3$ Дж;

$Q_{вип.} = 35,7 \cdot 10^3$ Дж. Сума цих складових складає $Q_{вн.} = 54,6 \cdot 10^3$ Дж.

За такою ж послідовністю визначимо витрати енергії на нагрівання поверхневого шару з формуванням скоринки. При цьому частка скоринки складає 20%, тобто $k = 0,2$. Враховуючи те, що зміна температури від 20 до 115°C в поверхневому шарі призводить до суттєвих змін його властивостей, пропонується умовно виділити два етапи. На 1-му етапі (так само як і для внутрішніх шарів під час нагрівання від 20 до 80°C) $\Delta t_1 = 60^\circ \text{C}$, а на 2-му етапі (під час нагрівання від 80 до 115°C) $\Delta t_2 = 35^\circ \text{C}$. За середньої температури 2-го етапу нагрівання скоринки близько 100°C прихована теплота пароутворення $r = 2256,3 \cdot 10^3$ Дж/кг. Середня питома теплоємність при цьому складає 1670 Дж/(кг·°С). Слід зауважити, що з урахуванням

15 % випареної вологи масу продукту під час 2-го етапу слід прийняти $G = 0,106$ кг. Втрату маси поверхневого шару під час формування скоринки на 2-му етапі приймаємо за 45 %.

Відповідно до (2) та (3) для поверхневого шару: $Q_n = 5,9 \cdot 10^3$ Дж; $Q_{вип.} = 30,4 \cdot 10^3$ Дж. Сумуємо складові та отримаємо кількість енергії на нагрівання поверхневого шару з формуванням скоринки $Q_{ск.} = 36,3 \cdot 10^3$ Дж.

Загальні витрати енергії, що є корисною під час запікання, за формулою (1) складають $Q_{заг.} = 90,9 \cdot 10^3$ Дж.

Розрахуємо параметри нагрівання для 1 випадку (контроль). Умовою рівномірності теплового поля за об'ємом продукту є отримання однакової кількості енергії від нагрівальної поверхні та ІЧ-випромінювачів. Тому кожна складова цих видів нагрівання дорівнюватиме 50 % від $Q_{заг.}$, тобто $Q_{нов.} = Q_{пром.} = 45,5 \cdot 10^3$ Дж.

Тривалість нагрівання нижньої частини напівфабрикату до температури в центрі 80°C від нагрівальної поверхні можна визначити використовуючи рівняння

$$Q_{нов.} = \frac{\Delta t_{сер.} \cdot F \cdot \tau}{\frac{\delta_{ск.}}{\lambda_{ск.}} + \frac{\delta_{в.ш.}}{\lambda_{в.ш.}}}, \quad (4)$$

де $\Delta t_{сер.}$ – середня різниця температур, $^\circ\text{C}$ ($\Delta t_{сер.} = 117^\circ \text{C}$);

F – площа контакту напівфабрикату з поверхнею нагрівання, м^2 ($F = 0,005 \text{ м}^2$);

$\delta_{ск.}$, $\delta_{в.ш.}$ – відповідно товщина поверхневого шару (скоринки) та 50% від загальної товщини внутрішніх шарів, м ($\delta_{ск.} = 0,0025 \text{ м}$; $\delta_{в.ш.} = 0,01 \text{ м}$);

$\lambda_{ск.}$, $\lambda_{в.ш.}$ – відповідно середнє значення коефіцієнта теплопровідності поверхневого шару (скоринки) та внутрішнього шару, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ (приймаємо $\lambda_{ск.} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_{в.ш.} = 0,65 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$);

тобто

$$\tau = \frac{Q_{нов.} \cdot \left(\frac{\delta_{ск.}}{\lambda_{ск.}} + \frac{\delta_{в.ш.}}{\lambda_{в.ш.}} \right)}{\Delta t_{сер.} \cdot F} = \frac{45,5 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,0025}{0,35} + \frac{0,01}{0,65} \right)}{117 \cdot 0,005} = 1752 \text{ с.} \quad (5)$$

Визначимо потужність поверхневого нагрівання

$$P_{нов.} = \frac{Q_{нов.}}{\tau} = \frac{45,5 \cdot 10^3}{1752} = 26 \text{ Вт.} \quad (6)$$

Відповідно до рівності значень кількості теплоти від нагрівальної поверхні та ІЧ-випромінювачів, а також тривалості

процесу приймаємо потужність інфрачервоного нагрівання:
 $P_{IЧ} = P_{нов.} = P = 26 \text{ Вт.}$

Питоме теплове напруження обох видів нагріву складатиме

$$q = \frac{P}{S} = \frac{26,0}{0,005} = 5200 \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

Згідно із законом Стефана-Больцмана температура випромінювача T_1 :

$$T_1 = 100 \sqrt[4]{\frac{Q_{пром.}}{\varepsilon \cdot C_0 \cdot F \cdot \tau} + \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}, \text{ К}, \quad (8)$$

де ε – ступінь чорноти (приймаємо $\varepsilon = 0,5$);

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла ($C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$);

T_1, T_2 – відповідно температура випромінювача та середня температура напівфабрикату, К (за даних умов $T_2 = 345 \text{ К}$).

За виразом (8):

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{45,5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 5,67 \cdot 0,005 \cdot 1752} + \left(\frac{345}{100}\right)^4} = 667 \text{ К.}$$

Відповідно до закону Віна

$$\lambda_g = \frac{2,9 \cdot 10^3}{T}, \text{ мкм.} \quad (9)$$

З виразу (9) довжина хвилі $\lambda_g = 4,4 \text{ мкм}$.

Отримані параметри потужності нагрівання, довжини хвилі випромінювання дають змогу обрати режими роботи електро-нагрівачів, що забезпечують рівномірне двобічне нагрівання продукту.

На відміну від розглянутого, для другого (дослідного) випадку умови задачі дещо змінюються, оскільки додається складова передачі енергії шляхом ЕКН. За цих умов припустимо, що теплота від нагрівальної поверхні та ІЧ-випромінювачів використовується спрямовано на нагрівання поверхневого шару з формуванням скоринки. Тобто загальна енергія на формування скоринки з обох боків $Q_{ск.} = Q_{нов.} + Q_{пром.}$, при цьому тепловий потік від нагрівальної поверхні і променевої тепловий потік є рівними ($Q_{нов.} = Q_{пром.}$). Отже, кількість теплоти на формування скоринки дорівнюватиме $\frac{1}{2} Q_{ск.}$.

Таким чином $Q_{нов.} = Q_{пром.} = \frac{36,3 \cdot 10^3}{2} = 18,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$. Внутрішній шар

продукту нагрівається переважно за рахунок ЕКН, тому $Q_{ЕКН} = Q_{вн.} = 54,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Потужність поверхневого та ІЧ нагрівання залишимо тією ж. Визначимо час, потрібний для нагрівання поверхневого шару і формування скоринки

$$\tau = \frac{Q_{ск.}}{P} = \frac{18,2 \cdot 10^3}{26} = 700 \text{ с.} \quad (10)$$

При цьому припускаємо, що отримана теплота концентрується лише в поверхневому шарі та не передається до внутрішніх шарів, а їх нагрівання до 80° С буде відбуватися переважно шляхом ЕКН. У такому випадку загальна тривалість термообробки може скоротитися приблизно в 2,5 рази. Для цього, використовуючи рівняння Джоуля-Ленца

$$Q_{ЕКН} = U^2 \cdot \sigma_{num.} \cdot l \cdot \tau, \quad (11)$$

де U – напруга електричного струму, що забезпечує прогрівання внутрішніх шарів виробу до температури кулінарної готовності, В;
 $\sigma_{с.нум.}$ – середня питома електропровідність, (Ом·м)⁻¹;

$$l = \frac{S_{ел.}}{h} = \frac{0,0025}{0,05} = 0,05 \text{ – лінійний розмір, м;}$$

$S_{ел.}$ – площа контакту електроду з напівфабрикатом, м² (за умов поставленої задачі $S_{ел.} = 0,0025 \text{ м}^2$);

h – міжелектродна відстань, м (за умов поставленої задачі $h = 0,05 \text{ м}$);
 необхідно визначити напругу ЕКН. Зробивши перетворення виразу (11) маємо:

$$U = \sqrt{\frac{Q_{ЕКН}}{\sigma_{с.нум.} \cdot l \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{54,6 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 0,05 \cdot 700}} = 25 \text{ В.} \quad (12)$$

Висновки. Таким чином, процеси жарення кулінарної продукції можливо суттєво інтенсифікувати шляхом комбінації ЕКН з поверхневими методами нагрівання, (зокрема від нагрівальної поверхні, та ІЧ-випромінювачів). Враховуючи високий ККД ЕКН (близько 0,9) нагрівання більшої частки виробу саме таким методом надасть можливість суттєво зменшити енерговитрати. За наведеною методикою можна проводити розрахунки режимних параметрів комбінованої теплової обробки з ЕКН для широкого асортименту смаженої та запеченої кулінарної продукції.

Список літератури

1. Павлов І. С. Електричні способи обробки харчових продуктів / І. С. Павлов. – К. : Держтехвидав УРСР, 1957. – 108 с.
2. Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / С. С. Духин. – К. : Наукова думка, 1975. – 246 с.

3. Parrott D. L. Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates / D. L. Parrott // Food Technology. – 1992. – № 46. – P. 68–72.

4. Anderson D. R. Ohmic heating as an alternative food processing technology : a report / D. R. Anderson. – Manhattan : Kansas State University, 2008. – 45 p.

5. Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk / H. Sun, [at al.] // Food Science and Technology Research. – 2008. – Val 14 (2). – P. 117–123.

6. Bhale S. D. Effect of ohmic heating on color, rehydration and textural characteristics of fresh carrot cubes : a thesis / S. D. Bhale // Graduate faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. – Mahatma, 1997. – 56 p.

7. Ohmic processing: temperature dependent electrical conductivities of lemon juice / H. Darvishi [at al.] // Modern applied science, 2011. – V. 5, № 1. – P. 209–216.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.

© В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, А.О. Шевченко, В.І. Лук'янов, 2013.

УДК 66.081.6: 664.29

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук

З.О. Мазняк, канд. техн. наук

В.В. Гузенко, мол. наук. співроб.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ПЕКТИНОВИХ ЕКСТРАКТІВ

Розглядається стисла характеристика різних способів проведення процесів концентрування та очистки пектинових екстрактів, описуються їх позитивні та негативні сторони та надається порівняльна характеристика цих способів.

Рассматривается краткая характеристика различных способов проведения процессов концентрирования и очистки пектиновых экстрактов, описываются их позитивные и негативные стороны и представлена сравнительная характеристика этих способов.

The shot characteristic of many methods of the processes of concentration and treatment the pectin extracts. The advantages and disadvantages of the processes is described. The comparative characteristic of these methods is viewed.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, а також пов'язане з цим забруднення навколишнього середовища та продуктів харчування