

В.М. Михайлов, д-р техн. наук

О.Г. Дьяков, канд. техн. наук

А.О. Шевченко, асист.

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕРМООБРОБКИ ЗА УМОВИ КОМБІНОВАНОГО ЗАПІКАННЯ КУЛІНАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Надано результати розрахунку ефекту скорочення тривалості термообробки кулінарної продукції шляхом запікання комбінованим способом, заснованим на використанні електроконтактного, поверхневого та інфрачервоного нагрівання.

Представлены результаты расчета эффекта сокращения длительности термообработки кулинарной продукции путем запекания комбинированным способом, основанным на использовании электроконтактного, поверхностного и инфракрасного нагрева.

Presented the results of calculation of the effect of reduction duration of heat treatment of culinary products by combined method based on the use of the electro-contact, superficial and infra-red heating.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Останнім часом спостерігається активний розвиток малих підприємств ресторанного господарства швидкого обслуговування. Слід зауважити, що їм притаманне використання для виробництва кулінарної продукції обладнання з суттєвими енергетичними витратами, значною тривалістю процесів, складністю їх реалізації та трудомісткістю. Тому для підвищення ефективності виробництва, забезпечення раціональних умов праці та високої якості готової продукції виникає необхідність в удосконаленні існуючого та створенні нового обладнання, що дозволяє, в першу чергу, забезпечити швидке приготування невеликих об'ємів кулінарної продукції високої якості.

Одним з етапів виконання цієї роботи є проведення модельних розрахунків основних параметрів процесу та обладнання, що дозволяє дати оцінку нової ідеї. Існуючі методики розрахунків при цьому можуть бути використані лише для визначення окремих показників, але специфічні особливості нового процесу потребують вдосконалення таких методик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розроблений авторами багатофункційний пристрій теплової обробки харчових

продуктів [1] саме потребує розрахунку з урахуванням окремих специфічних особливостей. Це зумовлено тим, що реалізований в даному апараті комбінований спосіб теплової обробки кулінарних виробів [2] передбачає використання електроконтактного методу нагріву (ЕКН) поряд з поверхневим та інфрачервоним (ІЧ). За їх сумісного впливу необхідно визначити раціональні параметри роботи трьох різних теплогенеруючих пристроїв, що забезпечить кулінарну готовність виробу за найменших витрат часу та енергії. Тому виникає потреба у проведенні модельного розрахунку комбінованого процесу запікання, що має підтвердити його переваги за показником тривалості термообробки.

Мета та завдання статті. Метою роботи є визначення теоретичним шляхом ефекту скорочення тривалості термообробки кулінарної продукції шляхом запікання комбінованим способом, заснованим на використанні електроконтактного, поверхневого та інфрачервоного нагрівання.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою рішення поставленого завдання пропонується провести деякі теплові розрахунки під час запікання напівфабрикату січеного виробу на основі м'ясного фаршу для двох випадків: 1 (контроль) при двобічному підведенні теплової енергії – знизу (від нагрівальної поверхні) та зверху (від ІЧ-нагрівачів); 2 (дослідний) при трибічному підведенні теплової енергії – знизу (від нагрівальної поверхні), зверху (від ІЧ-нагрівачів) та з боку (за рахунок ЕКН).

Для розрахунків приймаємо такі вихідні дані.

Геометричні параметри напівфабрикату: довжина – 0,1 м, ширина – 0,05 м висота – 0,025 м. Маса напівфабрикату – 0,125 кг, питома електропровідність – 1,7 Ом⁻¹/м.

Початкова температура напівфабрикату – 20° С; кінцева температура внутрішнього шару виробу – 80° С, скоринки – 115° С.

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

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

Кожну складову цього рівняння можна представити у вигляді суми енергії на нагрів продукту $Q_{н.}$ та випаровування вологи $Q_{вип.}$, що визначаються

$$Q_{н.} = k \cdot G \cdot c \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де k – частка продукту від загальної маси напівфабрикату; G – маса напівфабрикату, кг; c – середня питома теплоємність напівфабрикату, Дж/кг·°C; Δt – різниця температур, °C;

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

де x – кількість випареної вологи від початкової маси напівфабрикату; r – скрита теплота пароутворення, Дж/кг.

Визначимо потрібну кількість теплоти для нагріву 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 скрита теплота пароутворення r складає $2382,2 \cdot 10^3$ Дж/кг.; середню питому теплоємність (при вологовмісті продукту 59 %) приймаємо $c = 3157$ Дж/кг · °C. Кількість випареної вологи від початкової маси – 15 %.

Згідно з розрахунками за рівняннями (2) та (3) $Q_{\text{н.}} = 18,9 \cdot 10^3$ Дж; $Q_{\text{вип.}} = 35,7 \cdot 10^3$ Дж. Сума цих складових складає $Q_{\text{вн.}} = 54,6 \cdot 10^3$ Дж.

За такою ж послідовністю визначимо витрати енергії на нагрівання поверхневого шару і формування скоринки. При цьому частка скоринки складає 20 %, тобто $k = 0,2$. Враховуючи те, що зміна температури від 20 до 115°C у поверхневому шарі призводить до суттєвих змін його властивостей, пропонується умовно виділити два етапи. На 1-му етапі (так само як і для внутрішніх шарів при нагріві від 20 до 80°C) $\Delta t_1 = 60^\circ \text{C}$, а на 2-му етапі (при нагріві від 80 до 115°C) $\Delta t_2 = 35^\circ \text{C}$. За середньої температури 2-го етапу нагріву скоринки близької до 100°C скрита теплота пароутворення $r = 2256,3 \cdot 10^3$ Дж/кг. Середня питома теплоємність при цьому складає 1670 Дж/кг · °C. 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 45 %.

Відповідно до (2) та (3) для поверхневого шару: $Q_{\text{н.}} = 5,9 \cdot 10^3$ Дж; $Q_{\text{вип.}} = 30,4 \cdot 10^3$ Дж. Просумуємо складові та отримаємо кількість енергії на нагрів поверхневого шару і формування скоринки $Q_{\text{ск.}} = 36,3 \cdot 10^3$ Дж.

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

Розрахуємо параметри нагріву 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 нагріву дорівнюватиме 50 % від $Q_{заг.}$, тобто $Q_{нов.} = Q_{пром.} = 45,5 \cdot 10^3$ Дж.

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

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

де $\Delta t_{сер.}$ – середня різниця температур, $^\circ\text{C}$ ($\Delta t_{сер.} = 117^\circ\text{C}$); S – площа контакту напівфабрикату з поверхнею нагрівання, м^2 ($S = 0,005 \text{ м}^2$); $\delta_{ск.}$, $\delta_{е.ш.}$ – відповідно товщина поверхневого шару (скоринки) та 50 % від загальної товщини внутрішніх шарів, м ($\delta_{ск.} = 0,0025 \text{ м}$; $\delta_{е.ш.} = 0,01 \text{ м}$); $\lambda_{ск.}$, $\lambda_{е.ш.}$ – відповідно середнє значення коефіцієнту теплопровідності поверхневого шару (скоринки) та внутрішнього шару, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ (приймаємо $\lambda_{ск.} = 0,35 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; $\lambda_{е.ш.} = 0,65 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

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

Визначаємо потужність поверхневого нагріву

$$P_{нов.} = \frac{Q_{нов.}}{\tau} = \frac{45,5 \cdot 10^3}{1752} = 26,0 \text{ Вт.} \quad (6)$$

Відповідно до рівності значень кількості теплоти від нагрівальної поверхні та ІЧ-випромінювачів, а також тривалості процесу приймаємо потужність інфрачервоного нагрівання: $P_{ІЧ} = P_{нов.} = P$.

Питоме теплове напруження обох видів нагріву складатиме

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

При роботі ІЧ-випромінювачів продукт нагрівається за рахунок конвекції від нагрітого зовнішнього середовища та променистої енергії, яка безпосередньо у продукті перетворюється у теплоту. Енергія від нагріву за рахунок конвекції дорівнюватиме

$$Q_k = \alpha \cdot \Delta t_k \cdot S \cdot \tau, \quad (8)$$

де $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_n}{l_k}$ – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); $Nu = c(\text{Pr} \cdot Gr)^n$ –

число Нуссельта при природній конвекції; c, n – коефіцієнти, що обираються в залежності від добутку $\text{Pr} \cdot Gr$; Pr – критерій Прандтля (за прийнятої температури нагрітого повітря $t_n = 220$ °С $\text{Pr} = 0,679$);

Gr – критерій Грасгофа; g – прискорення сили падіння, м/с²; $l_k = \frac{4S}{\Pi}$ – визначальний геометричний розмір виробу, м; $\Pi = 2(a+h)$ – периметр напівфабрикату, м; a, h – розміри поверхні напівфабрикату, м (за умов поставленої задачі $a = 0,1$ м; $h = 0,05$ м);

$\Pi = 2 \cdot (0,1 + 0,05) = 0,3$; $l_k = \frac{4 \cdot 0,005}{0,3} = 0,067$ м; ν_n – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м²/с (за температури повітря 220°С $\nu_n = 37 \cdot 10^{-6}$ м²/с); $\beta = \frac{1}{t_n + 273} = \frac{1}{220 + 273} = 0,002$ К⁻¹ – коефіцієнт

об'ємного розширення повітря; λ_n – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К) (за температури повітря 220°С $\lambda_n = 0,04$ Вт/(м·К); $\Delta t_k = t_n - t_{cep} = 220 - 68 = 152$ °С – відповідно різниця температур повітря та поверхні напівфабрикату.

За даних умов критерій Грасгофа дорівнюватиме $6,6 \cdot 10^5$; добуток $\text{Pr} \cdot Gr = 4,5 \cdot 10^5$. При цьому $c = 0,54$; $n = 0,25$, а отже число Нуссельта $Nu = 14,0$ та коефіцієнт тепловіддачі $\alpha = 8,4$ Вт/(м²·К).

За виразом (8) $Q_k = 11,2 \cdot 10^3$ Дж.

Складова частка променистої енергії, що витрачається на нагрів продукту, дорівнюватиме

$$Q_e = Q_{\text{пром}} - Q_k = (45,5 - 11,2) \cdot 10^3 = 34,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}. \quad (9)$$

При цьому відповідно до закону Стефана-Больцмана

$$Q_e = \varepsilon \cdot C_0 \cdot S \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \tau, \quad (10)$$

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 $T_2 = 345 \text{ К}$.

Зробивши перетворення виразу (10), визначимо температуру випромінювача

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{Q_e}{\varepsilon \cdot C_0 \cdot S \cdot \tau} + \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}. \quad (11)$$

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{34,3 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 5,67 \cdot 0,005 \cdot 1752} + \left(\frac{345}{100} \right)^4} = 625 \text{ К}.$$

Згідно з законом Віна при нагріві випромінюванням взаємозв'язок між температурою випромінювача та довжиною хвилі λ_e описується рівнянням

$$\lambda_e \cdot T = 2,9 \cdot 10^3 \Rightarrow \lambda_e = 2,9 \cdot 10^3 / T. \quad (12)$$

З виразу (12) визначимо довжину хвилі дорівнює 4,6 мкм.

Отримані параметри потужності нагріву, довжини хвилі випромінювання дають змогу обрати режими роботи електронагрівачів, що забезпечують рівномірний двобічний нагрів продукту.

На відміну від розглянутого, для другого (дослідного) випадку умови задачі дещо змінюються, оскільки додається додаткова складова передачі енергії шляхом ЕКН. За цих умов припустимо, що теплота від нагрівальної поверхні та ІЧ випромінювачів використовується спрямовано на нагрів поверхневого шару та формування скоринки. Тобто $Q_{нов.} + Q_{пром.} = Q_{ск.}$, при цьому $Q_{ск.} = 18,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$. Внутрішній шар продукту нагрівається переважно за рахунок ЕКН, тому $Q_{ЕКН} = Q_{ен.} = 54,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Параметри поверхневого та ІЧ нагріву залишимо тими ж. З виразу (6) визначимо час, потрібний для нагріву поверхневого шару і формування скоринки

$$\tau = \frac{Q_{ск.}}{P} = \frac{18,2 \cdot 10^3}{26} = 700 \text{ с.} \quad (13)$$

При цьому припускаємо, що отримана теплота концентрується лише у поверхневому шарі та не переходить у внутрішні шари. Також можна припустити, що за цей час внутрішні шари виробу будуть прогріті до температури 80° С шляхом ЕКН. У такому випадку загальна тривалість термообробки може скоротитися на 60 %. Для цього, використовуючи закон Джоуля-Ленца, необхідно визначити напругу ЕКН

$$Q_{ЕКН} = U^2 \cdot \sigma_{num.} \cdot l \cdot \tau, \quad (14)$$

де U – напруга електричного струму, В; $\sigma_{num.}$ – питома електропровідність, Ом⁻¹/м; $l = \frac{S_{en.}}{h} = \frac{0,0025}{0,05} = 0,05$ – лінійний розмір, м; $S_{en.}$ – площа контакту електрода з напівфабрикатом, м² (за умов поставленої задачі $S_{en.} = 0,0025 \text{ м}^2$); h – міжелектродна відстань, м (за умов поставленої задачі $h = 0,05 \text{ м}$).

Зробивши перетворення виразу (14) визначимо напругу:

$$U = \sqrt{\frac{Q_{ЕКН}}{\sigma_{num.} \cdot l \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{54,6 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 0,05 \cdot 700}} = 30 \text{ В.} \quad (15)$$

Висновки. Проведений розрахунок дозволив встановити, що процес запікання кулінарної продукції можна суттєво інтенсифікувати шляхом комбінації ЕКН з іншими видами нагріву, зокрема від нагрівальної поверхні та ІЧ-випромінювачів. За наведеною методикою можна проводити розрахунки параметрів комбінованого запікання для різних видів продукції. Також слід зауважити, що враховуючи високий коефіцієнт корисної дії при ЕКН (близько 0,9) нагрів більшої частки виробу саме таким методом надасть можливість суттєво зменшити енерговитрати під час виробництва запеченої продукції.

Список літератури

1. Пат. 37175 Україна, МКИ А 23 L 1/025. А 47 J 37/00. Багатофункційний пристрій теплової обробки харчових продуктів [Текст] / Михайлов В. М., Бабкіна І. В., Дьяков О. Г., Шевченко А. О. ; заявники та патентовласники Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № 200804522 ; заявл. 09.04.2008 ; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.

2. Пат. 33181 Україна, МКИ А 23 L 1/025. Комбінований спосіб смаження січених кулінарних виробів на основі електроконтактного нагріву [Текст] / Михайлов В. М., Дьяков О. Г., Бабкіна І. В., Шевченко А. О.; заявники та патентовласники Харк. держ. ун-т харч. та торг.; Михайлов В. М., Дьяков О. Г., Бабкіна І. В., Шевченко А. О. – № 200801945; заявл. 15.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл. №11.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.

© В.М. Михайлов, О.Г. Дьяков, А.О. Шевченко, 2009.

УДК 336.74.009.65 «312»

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук

Н.О. Афукова, канд. техн. наук

СУЧАСНІ МЕТОДИ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПЕРЕВІРКИ АВТЕНТИЧНОСТІ ГРОШОВИХ ЗНАКІВ

Визначено та проаналізовано сучасні методи і технічні засоби перевірки автентичності грошових знаків, які дозволяють надійно захищати національну валюту.

Определены и проанализированы современные методы и технические средства проверки автентичности денежных знаков, которые позволяют надежно защищать национальную валюту.

Determined and analyses modern methods and technical facilities of the check authentic money sign, which allow safely to protecting national currency.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Всебічний економічний розвиток, активна інтеграція держав у світове суспільство не можливі без використання в міжнародних розрахунках валюти різних країн світу. Політичні зміни, що відбуваються у світі, приводять до економічних змін, які гостро впливають і на грошові системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Паперові грошові знаки є об'єктом підвищених злочинних зазіхань, одним з виражень яких є їх підроблення. На міжнародний характер і розповсюдженість підроблення валюти вказують тенденції, які спостерігаються останніми роками в різних країнах. Підроблення грошових знаків деякою мірою залежить від рівня технічного прогресу, який надає в розпорядження злочинців все більш ефективні засоби створення фальшивих банкнотів.

Для запобігання можливості фальшивомонетництва більшість держав удосконалюють захист паперових грошей. Рівень захисту, який забезпечується певною захисною ознакою, безпосередньо пов'язаний з