

ють консистенцію виробу (протопектин переходить у пектин). Паста може бути використана як вітамінна добавка, наповнювач, згущувач у різних галузях харчової промисловості, таких, як кондитерська, молочна, хлібопекарська, а також для приготування їжі та напоїв на підприємствах харчування та в домашніх умовах.

Список літератури

1. Витаминизированные пасты из дикорастущего плодово-ягодного сырья [Текст] / А. И. Червко [и др.] // Научно-прикладные аспекты технологии продуктов и организация общественного питания : межвуз. сб. науч. трудов. – СПб. : СПбГЭИ, 2006. – С. 66–69.

2. Пат. 53975 Україна, МКВ А 23N 12/04. Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини [Текст] / О. І. Червко, Л. В. Кіптєла, Н. О. Афукова; ХДУХТ Україна. – № 20020429262 ; заявл. 11.04.02 ; опубл. 17.02.03, Бюл. №3. – 5 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Червко, Л.В. Кіптєла, О.Є. Загорулько, Д.В. Постолюк, 2010.

УДК 664.8.036

В.М. Михайлов, д-р техн. наук

О.Г. Дьяков, канд. техн. наук

І.В. Бабкіна, канд. техн. наук

А.О. Шевченко, асист.

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ

Отримано теоретичні залежності для аналізу ефективності нагрівання харчових продуктів при комбінації поверхневого, інфрачервоного та електроконтактного методів. Визначено характер розподілу температурного поля за об'ємом продукту в процесі нагрівання і здійснено вибір раціональних параметрів струму, які є базовими даними для подальших експериментальних досліджень.

Получены теоретические зависимости для анализа эффективности нагрева пищевых продуктов при комбинации поверхностного, инфракрасного и электроконтактного методов. Определен характер распределения температурного поля по объему продукта в процессе нагрева и осуществлен выбор рациональных параметров тока, являющиеся базовыми данными для дальнейших экспериментальных исследований.

Got theoretical dependence for analysis of efficiency of heating food products at combination of superficial, infra-red and electrocontact methods. Certain character of distribution temperature field on volume product in process of heating

and choice of rational parameters of current, being base information for further experimental researches.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Розвиток харчової промисловості в Україні зумовлює необхідність вирішення багатьох складних практичних задач, пов'язаних з удосконаленням процесів та розробкою нового прогресивного обладнання, що відрізняється високою ефективністю, зниженими енерговитратами та високою якістю отриманої продукції. Одним із важливих етапів вирішення цих задач є теоретичне моделювання, що дозволяє побудувати алгоритми розрахунків процесів та нового обладнання, встановити їх ефективність та економічну доцільність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою зниження енерговитрат при переробці харчової сировини з одночасним забезпеченням якості отриманої продукції активно проводиться робота з удосконалення процесів теплової обробки шляхом комбінації різних способів передачі енергії та визначення їх раціональних режимів. Перспективним напрямом є поєднання традиційних способів з електрофізичними процесами. Серед цих процесів метод електроконтактної обробки відрізняється за показниками ефективності, високим коефіцієнтом корисної дії, швидкоплинністю, рівномірністю температурного поля та простою реалізацією. Він заснований на використанні електричного струму різних частот і має універсальний характер дії на продукт, оскільки до складу всіх харчових продуктів входять електрично заряджені частинки [1]. У процесі обробки тепло виділяється безпосередньо в оброблюваному продукті, а навколишні деталі залишаються холодними, тобто спостерігається відсутність теплової інерції нагрівача [2].

Авторами розроблено комбінований спосіб теплової обробки та пристрій для його реалізації [3; 4], що можуть бути використані при виробництві смаженої та запеченої кулінарної продукції. В основу винаходів покладено комбінування поверхневого, інфрачервоного (ІЧ) та електроконтактного (ЕКН) видів нагріву. У роботі [5] наведено результати розрахунку ефекту можливого скорочення тривалості термообробки при реалізації запропонованого способу, однак важливим є також визначення характеру розподілу температурного поля за об'ємом продукту в процесі нагрівання і вибір раціональних параметрів струму.

Мета та завдання статті. Метою роботи є отримання теоретичних залежностей для аналізу ефективності нагрівання харчових продуктів при теплової обробці, що заснована на комбінації поверхневого, ІЧ та електроконтактного методів. Основним завданням є визначення характеру розподілу температурного поля за об'ємом продукту в

процесі нагрівання і вибір раціональних параметрів стуму як базових даних для подальших експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретичні дослідження комбінованого способу теплової обробки проведені на модельному зразку напівфабрикату, який представлено симетричною (відносно горизонтальної осі t) тришаровою пластиною (два поверхневих і центральний шар), товщина якої $2l$ відносно інших розмірів є малою (рис. 1). На два протилежних поверхневих шари, з товщиною l_{n1} та l_{n2} , відповідно, впливає тепловий потік q_1 та q_2 , який може бути організований шляхом теплопровідності (від нагрівальних поверхонь), або в комбінації з іншими способами передачі теплової енергії, зокрема випромінюванням, конвекцією. При цьому $q_1=q_2$, чим забезпечується рівність значень температури протилежних поверхневих шарів ($t_{n1}=t_{n2}$). Нагрівання внутрішніх шарів забезпечується за рахунок теплопровідності, а також ЕКН через бокові поверхні шляхом підведення електричного струму від електродів.

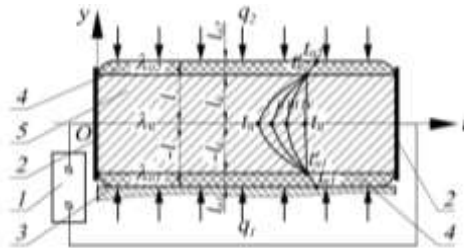


Рисунок 1 – Теоретична модель комбінованого способу теплової обробки: 1 – джерело живлення для ЕКН; 2 – електроди; 3 – нагрівальна поверхня; 4, 5 – відповідно поверхневий та внутрішній шари виробу; I, II, III, IV – криві зміни температурного поля

З метою спрощення рішення задачі нестационарного теплообміну розглянемо розподіл температурного поля за об'ємом модельного зразка на межі певної фіксованої миті часу перебігу процесу, для якої можна припустити, що $\frac{dt}{d\tau} = 0$.

Для цього випадку диференціальне рівняння теплопровідності:

$$\nabla^2 t + q_{el} \cdot h = 0, \quad (1)$$

де $\nabla^2 t$ – оператор Лапласа; q_{el} – тепловий потік від електроконтактного нагріву, Bm/m^3 ; h – міжелектродна відстань (ширина виробу), m .

Також можна обмежитися тим, що температурне поле змінюється лише у напрямку, перпендикулярному до нагрівальної поверхні, тобто за віссю ($O-y$), і є постійним у напрямку інших осей. Тоді рівняння (1) приймає вигляд:

$$\frac{d^2 t}{dy^2} + q_{el} \cdot h = 0. \quad (2)$$

Його рішення дає можливість визначити температуру у центрі модельного зразка (t_u , °C) при досягненні певної температури на поверхні в фіксовану мить часу. Оскільки поверхневі шари знаходяться у тепловому контакті із внутрішніми, крайові умови можна задати так:

$$-\lambda_n \left(\frac{\partial t_n}{\partial y} \right) = -\lambda_y \left(\frac{\partial t_y}{\partial y} \right). \quad (3)$$

У зв'язку з тим, що крайові умови для двох протилежних поверхонь виробу є однаковими, температурне поле за його об'ємом має бути симетричним відносно горизонтальної площини, тобто для подальших розрахунків приймаємо $y=l$ і під час аналізу характеру розподілу температурного поля можна розглядати, наприклад, лише нижню половину модельного зразка. Тоді крайові умови:

$$-\lambda_{n1} \left(\frac{\partial t_{n1}}{\partial y} \right)_{y=-l} = -\lambda_y \left(\frac{\partial t_y}{\partial y} \right)_{y=0}. \quad (4)$$

Таким чином, тепловий потік за умов відсутності ЕКН (1-й варіант – контрольний)

$$q_1 = (t_{n1} - t'_{n1}) \cdot \frac{\lambda_{n1}}{l_{n1}} = (t'_{n1} - t_y) \cdot \frac{\lambda_y}{l_y}, \quad (5)$$

а при додатковому впливі ЕКН (2-й варіант – дослідний)

$$q_1 = (t_{n1} - t'_{n1}) \cdot \frac{\lambda_{n1}}{l_{n1}} = (t'_{n1} - t_y) \cdot \frac{\lambda_y}{l_y} + q_{el} \cdot h. \quad (6)$$

З рівнянь (5) та (6) отримаємо рівняння для визначення температури в центрі виробу:

– за 1 варіантом

$$t_{\text{ц}} = t'_{n1} - \left[(t_{n1} - t'_{n1}) \frac{\lambda_{n1}}{l_{n1}} \right] \frac{l_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}}; \quad (7)$$

– за 2 варіантом

$$t_{\text{ц}} = t'_{n1} - \left[(t_{n1} - t'_{n1}) \frac{\lambda_{n1}}{l_{n1}} - q_{\text{ел}} \cdot h \right] \frac{l_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}}. \quad (8)$$

При цьому тепловий потік від ЕКН

$$q_{\text{ел}} = \frac{U^2}{R \cdot V}, \text{ Bm/м}^3, \quad (9)$$

де U – напруга, що подається до продукту, В; R – електричний опір, Ом; V – об'єм модельного зразка, м³.

Для розв'язання (7-9) задамо наступні вихідні параметри:

– об'єм модельного зразка $V = 0,032 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (для розрахунку приймається 50% від загального об'єму, тобто $V = 0,016 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$);

– геометричні параметри: товщина поверхневого шару $l_{n1} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; внутрішнього шару $l_{\text{ц}} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; міжелектродна відстань $h = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$;

– коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{n1} = 0,35 \text{ Bm/(м} \cdot \text{K)}$;
 $\lambda_{\text{ц}} = 0,65 \text{ Bm/(м} \cdot \text{K)}$;

– електричні параметри: напруга I випадок (контроль) $U = 0$ В; II випадок $U = 10$ В; III випадок $U = 14$ В; IV випадок $U = 18$ В; елек-тричний опір $R = 400$ Ом;

– температура на межах поверхневого шару трьох фіксованих моментів часу: 1) $t_{n1} = 60^\circ \text{ C}$; $t'_{n1} = 54^\circ \text{ C}$; 2) $t_{n1} = 80^\circ \text{ C}$; $t'_{n1} = 76^\circ \text{ C}$; 3) $t_{n1} = 100^\circ \text{ C}$; $t'_{n1} = 97^\circ \text{ C}$.

З урахуванням цих даних результати розрахунку температури в центрі модельного зразка за умов комбінованої теплової обробки відповідно до вищевказаних параметрів наведено у табл. 1.

Загальний характер розподілу температурного поля за об'ємом в процесі нагрівання вказує на те, що у межах досліджуваних значень температури поверхневих шарів, у центральних шарах модельного зразка вона на $8 \dots 29^\circ \text{ C}$ вище, ніж за відсутності додаткового ЕКН.

Встановлено, що з підвищенням напруги зростає швидкість нагрівання внутрішніх шарів. Для певних значень напруги теоретично швидкість може перевищувати швидкість нагрівання поверхневого шару, що не є бажаним результатом. Це зумовлюється тим, що для от-

римання високої якості смаженої та запеченої продукції на стадії готовності температура поверхневих і центральних шарів повинна складати 130...135° С та 80...90° С, відповідно.

Таблиця 1 – Результати розрахунку температури в центрі модельного зразка

| Температура на межі поверхневого шару, °С | | Температура в центрі, t_n , °С | | | |
|---|-----------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | | контроль | дослід | | |
| t_n | t'_{n1} | U=0 В | U=10 В | U=14 В | U=18 В |
| 60 | 54 | 25 | 33 | 42 | 53 |
| 80 | 76 | 56 | 65 | 73 | 85 |
| 100 | 97 | 82 | 91 | 98 | 111 |

Отримані результати вказують на можливість суттєвої інтенсифікації процесу при комбінованому способі, що передбачає використання ЕКН, але шляхом експериментальних досліджень повинні бути встановлені значення напружень для різних видів продукції з урахуванням їх електропровідних властивостей.

У процесі ЕКН струмопровідних об'єктів може застосовуватися змінний струм різної форми, зокрема синусоїдальної (сигнал зміна якого у часі відбувається за законом синусоїди) та прямокутної (ступінчатий сигнал). Тому необхідно також встановити, як впливає форма електричного струму на ефективність їх нагрівання.

Слід зауважити, що прямокутний струм, згідно з законом розкладення ряду Фур'є, являє собою суму різних за амплітудою та частотою синусоїд, тобто гармонік [6]. При цьому складаються непарні гармоніки від 1-ої до нескінченності. Це означає, що зміна напруги ступінчатого сигналу виражається такою залежністю

$$U(t) = \sum_{i=0}^k \frac{U_d}{2i+1} \sin((2i+1)t), \quad (10)$$

де U – напруга, отримана після утворення сигналу, В; U_d – дійсне значення напруги від джерела живлення, В; t – час, с; k – кількість гармонік.

Розглянемо осцилограми для синусоїдальної та прямокутної форм струму з напругою 10 В (рис. 2). Зміна 1-ої гармоніки струму, тобто випадок, коли $k=0$ представлена осцилограмою 1 та має форму синусоїди. Порівнюючи її зі зміною прямокутного струму 4 ($k=\infty$) частота в обох випадках є однаковою, а вихідна напруга відрізняється.

Додавання до 1-ої 3-ої, 5-ої і т.д. гармонік (осц. 2, 3), змінює вигляд амплітуди та наближає її до прямокутної форми (осц. 4).

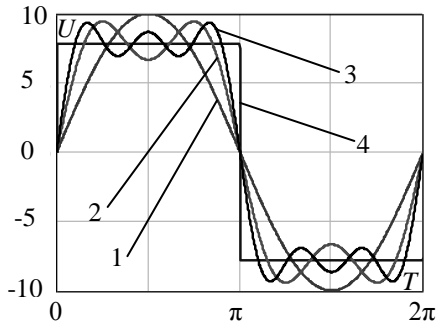


Рисунок 2 – Осцилограми напруги: 1 – струм синусоїдальної форми; 2 – осцилограма суми 1-ої та 3-ої гармонік; 3 – осцилограма суми 1-ої, 3-ої та 5-ої гармонік; 4 – прямокутна форма струму

Вище сказане вказує на відмінність в енергетичних можливостях кожного з розглянутих форм струму. Наведені осцилограми 2 та 3 на практиці не застосовуються та є теоретичними, і мають на меті показати картинку формування прямокутного струму. Зміна напруги 1 є саме функцією для синусоїдального струму і може порівнюватись з осцилограмою прямокутного струму 4.

Розрахуємо кількість теплової енергії Q (Дж), яка виділяється протягом елементарного періоду часу (в даному випадку $T=2\pi$) в модельних зразках напівфабрикатів, що підлягають нагріванню за допомогою ЕКН. При цьому приймаємо електричний опір модельних зразків $R=400$ Ом.

Кількість теплоти Q_c , що виділяється при синусоїдному струмі, визначається за формулою

$$Q_c = \frac{U^2 \cdot T}{R}, \quad (11)$$

де T – період, с; R – електричний опір, Ом;

При прямокутному струмі кількість теплоти Q_n визначається

$$Q_n = \sum_{i=0}^k \frac{(U/(2i+1))^2 \cdot T}{R}. \quad (12)$$

Зі збільшенням гармонік, які додаються, їх вплив поступово зменшується, тому для розрахунку можна прийняти суму найбільш ефективних 1, 3 та 5-ї гармонік.

Слід зазначити, що у випадку синусоїди напруга змінюється поступово за півперіод від 0 до 10 В та зворотно, при цьому напруга після утворення сигналу $U = \frac{2U_{\text{макс.}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 10}{\pi} = 6,4$ В. Зміна ж напруги при прямокутному струмі відбувається через кожні півперіоду стрибкоподібно до рівного за модулем значення, тобто отримана напруга протягом досліджуваного періоду майже весь час дорівнює 7,9 В.

Результати розрахунку за рівняннями (11) та (12):

$$Q_c = \frac{6,4^2 \cdot 2\pi}{400} = 0,6 \text{ Дж}; \quad Q_n = \sum_{i=0}^2 \frac{(7,9/(2i+1))^2 \cdot 2\pi}{400} = 1,1 \text{ Дж}.$$

Отже, за однаковий період часу при прямокутній формі електричного струму виділяється теплової енергії на 46 % більше, ніж при синусоїдальному струмі, що вказує на доцільність його використання з метою інтенсифікації ЕКН.

Висновки. У результаті виконаної роботи отримано теоретичні залежності для аналізу ефективності нагріву харчових продуктів при тепловій обробці, що заснована на комбінації поверхневого та електроконтактного нагрівань. Визначено характер розподілу температурного поля за об'ємом продукту в процесі нагрівання та вплив ЕКН, зокрема його напруги і форми електричного струму на ефективність нагрівання. Доведено раціональність застосування електричного струму прямокутної форми. Отримані дані є базовими для проведення подальших експериментальних досліджень.

Список літератури

1. Павлов, И. С. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. Обработка пищевых продуктов электрическим током [Текст] / И. С. Павлов. – М. : ГОСИНТИ, 1958. – Сб. 1. – 100 с.
2. Беляев, М. И. Оборудование предприятий общественного питания. Тепловое оборудование [Текст] : в 3 т. / М. И. Беляев. – М. : Экономика, 1990. – Том 3. – 558 с.
3. Пат. 33181 Україна, МПК 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. 10.06.2008, Бюл. № 11.

4. Пат. 37175 Україна, МПК 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.; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № 200804522 ; заявл. 15.02.08 ; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22.

5. Михайлов, В. М. Теоретичне визначення ефекту інтенсифікації термообробки за умови комбінованого запікання кулінарної продукції [Текст] / В. М. Михайлов, О. Г. Дьяков, А. О. Шевченко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 2 (10). – С. 230–237.

6. Ангро, А. Математика для электро- и радиоинженеров [Текст] / А. Ангро. – М. : Наука, 1965. – С. 85–93.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.М. Михайлов, О.Г. Дьяков, І.В. Бабкіна, А.О. Шевченко, 2010.

УДК 656.073.5:351.761.3

Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук

Н.О. Афукова, канд. техн. наук

Н.В. Савченко, студ.

ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ТА ПРИСТРОЇВ

Досліджено ринок сучасних технічних засобів та методів митного контролю, які спроможні виявляти та ідентифікувати вибухові речовини та пристрої.

Исследован рынок современных технических средств и методов таможенного контроля, которые выявляют и идентифицируют взрывчатые вещества и устройства.

Market research of modern technical means and methods of customs control for detection of explosive substances and devices.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Останніми роками в нашій країні в умовах загального погіршення криміногенної ситуації спостерігається зростання кількості злочинів, пов'язаних із використанням зброї, боєприпасів, вибухових речовин і пристроїв.

На сьогоднішній день тероризм із застосуванням вибухових речовин набув поширення у всьому світі, боротьба з цим протиправним явищем є міжнародною проблемою. Використання терористами вибухових речовин та пристроїв, що ретельно закамують у побутових