

УДК 621.78.012:641

ШАПОВАЛ С.Л., РОМАНЕНКО Р.П.

Київський національний торговельно-економічний університет

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ОКРЕМИХ ШАРІВ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Наведено послідовність дослідження динаміки температуропровідності окремих шарів харчових продуктів під час термічної обробки. Визначено, що температуропровідність котлетної маси і паніровки змінюється стрибкоподібно за температур менше 60⁰С, і поступово знижується при досягненні шарами продукту вищої температури.

Ключові слова: теплофізичні властивості, биточки січені, термічна обробка, котлетна маса, паніровка.

Шаповал С.Л., Романенко Р.П. Современный подход к исследованию температуропроводности отдельных слоев пищевых продуктов. *Описано последовательность исследования температуропроводности отдельных слоев пищевых продуктов во время термической обработки. Определено, что температуропроводность котлетной массы и панировки изменяется скачкообразно при температурах менее 60⁰С, и постепенно снижается при достижении слоями продукта более высоких значений температуры.*

Ключевые слова: теплофизические свойства, биточки рубленые, термическая обработка, котлетная масса, панировка.

Shapoval S.L., Romanenko R.P. Modern approach to the research of thermal diffusivity of separate layers of foodstuffs. *The sequence of the research of thermal diffusivity of separate layers of foodstuffs during the thermal processing is given. It is determined that the thermal diffusivity of cutlet mass and breading is being changed spasmodically under the temperature of less than 60⁰c and gradually decreases when the layers of product reach higher temperature.*

Key words: Thermophysical properties, minced meat balls, thermal treatment, cutlet mass, breading.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Протягом останніх десяти років науковцями та виробниками запропоновано велику кількість кулінарних виробів, з використанням нової сировини, проте підбір параметрів термічної обробки базується, переважно, на сенсорних методах. Що обумовлено складністю процесів дослідження теплофізичних властивостей і суттєвим впливом навіть незначних змін у рецептурі продукту.

Харчові продукти мають властивості, переважно, колоїдних капілярно-пористих тіл, що обумовлено молекулярними взаємодіями з навколишнім середовищем зовнішньої і внутрішньої поверхні розділу і процесами коагуляції. Під час термічної обробки в продукти можуть змінювати агрегатний стан - може з'являтися рідка фракція (вивільнятися волога або розтоплюватися жир), розміри, консистенцію та структуру. Саме тому дослідження тепло-електрофізичних або структурно-механічних властивостей продуктів є складним процесом, на який впливає велика кількість факторів. Зокрема теплофізичні властивості харчових напівфабрикатів змінюються за часом зберігання та температурою і залежать від геометричної форми, хімічного складу, структури. [1]

Проте важливість теплофізичних властивостей важко переоцінити, адже тепло- і температуропровідність та теплоємність визначають параметри режимів термічної обробки, а отже визначають якість готового виробу та вартість теплоенерго ресурсів, необхідних для його термічної обробки.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. При визначенні теплофізичних характеристик харчових продуктів необхідно враховувати будову матеріалу, взаємодія його із зовнішнім середовищем, впливом харчових добавок, різку зміну структурно-механічних властивостей під час оброблення продуктів, а також молекулярні та хімічні взаємодії вологи з матеріалом (форми зв'язку вологи) і умови переміщення її в матеріалі.

Для пояснення характеру поведінки харчового продукту і створення фізичної моделі теплового процесу для реальних молекулярних структур використовують теорію Ван-дер-Ваальса. Завдяки якій враховують і молекулярний розмір, і об'єм і тиск, який чинить молекулярна структура при зміні температури (враховуючи, що температура є мірою середньої кінетичної енергії руху молекул). [2].

Загалом харчові продукти поділяють на тверді і рідкі чисто умовно, оскільки процеси, що протікають в них, відбуваються зі зміною агрегатного стану всього тіла або окремих його складових (перехід рідини в пару, конденсація пари в рідину, кристалізація, сублімація тощо). Особливо чітко це проявляється при термічній обробці харчових продуктів. Крім того, експериментально фіксуються фазові переходи за якими чітко можна констатувати наявність конкретних харчових компонентів. [2].

Існує декілька наукових праць щодо дослідження тепло- температуро провідності харчових продуктів, зокрема колективом харківських вчених [3] визначено залежності коефіцієнту теплопровідності листового тіста від його

вологості та способу термічної обробки. Встановлено, що із збільшенням вологості тіста суттєво підвищується його теплопровідність.

Колективом авторів Київського національного торговельно-економічного університету (КНТЕУ) було запропоновано методику визначення теплофізичних властивостей харчових продуктів з використанням вітчизняної вимірювальної техніки виробництва ТОВ «ІТМ», м. Харків. [4]

Методику було апробовано при визначенні теплофізичних параметрів заморожених соків із м'якоттю [5], проте однорідне середовище і рівномірний процес зниження температури не розкривають всього потенціалу вимірювального обладнання.

Цілі статті. Метою роботи є апробація методу визначення температуропровідності окремих шарів продуктів харчування під час термічної обробки. Завданням було дослідження динаміки температуропровідності паніровки та котлетної маси биточків січених під час термічної обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Експерименти проводилися у лабораторії фізики КНТЕУ. Температуру зразка визначали контактним способом за допомогою універсального вимірювального комп'ютерного приладу ІТМ (УВКП), спеціально модифікованого виробником для наукових досліджень. Прилад оснащено 16-розрядним аналогово-цифровим перетворювачем, відповідно ціна поділки УВКП складає 1/65536 діапазону вимірювання датчика. Розробленими колективом науковців КНТЕУ [6] напівпровідниковими температурними датчиками заміряли температуру шарів. Межі вимірювання розроблених термодатчиків: $-30\dots+180^{\circ}\text{C}$, ціною поділки $0,025^{\circ}\text{C}$.

Температуру теплоносія контролювали за допомогою вбудованих датчиків в термошафі Pol-Еко SLN 32.

Рішення не використовувати пароконвекційну піч було продиктоване наступними факторами: в процесі приготування продукту у пароконвектоматі при включенні та виключення нагрівальних елементів температура у камері коливається з амплітудою до 3°C . Коливання температури теплоносія призводять і до коливання температури продукту, особливо його поверхневого шару, що додає тригонометричну складову змінної амплітуди і періоду, що значно ускладнює його аналіз. Термостатичні шафи допускають коливання температури з амплітудою до 1°C , що спричиняє лише незначні коливання поверхневого шару

З метою дослідження кінетики теплофізичних властивостей окремих шарів харчових продуктів було проведено низку експериментів. Сформовано масив даних, щодо залежності динаміки теплофізичних властивостей багатокомпонентних харчових продуктів від їх рецептурного складу.

У результаті дослідження динаміки температури у зразку, було визначено коефіцієнт температуропровідності котлетної маси та паніровки який розраховувався за наступним алгоритмом:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda_{пов}}, \quad (1)$$

де l – діаметр зразка + 0,03 м

$\lambda_{пов}$ - коефіцієнт теплопровідності поверхні досліджуваного матеріалу, Вт/(м·К);

α - коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$. Визначається експериментально або за узагальненим критеріальним рівнянням;

Nu – коефіцієнт температуропровідності (м²/с).

$$Nu = k \sqrt[4]{(Gr \cdot Pr)}, \quad (2)$$

$$Gr = \frac{g(\alpha + 0.03)^2}{\mu^2} \beta \cdot \Delta t_{пов} \quad (3)$$

де $g=9,81$ м/с²,

$$\beta = \frac{1}{273 + t_{пов}},$$

μ – молярна маса теплоносія (визначається за табличними значеннями).

$$Pr = \alpha \cdot \Delta t_{пов}. \quad (4)$$

Коефіцієнт температуропровідності визначався залежно від температури під час всього процесу термічної обробки у інтервалі 18...140⁰С, тобто при нестационарному нагріванні.

При нагріванні харчових та інших матеріалів в повітряному термостаті або в камерах з постійною температурою і постійним коефіцієнтом тепловіддачі приймається гранична умова четвертого роду, яка використовується при нагріванні або охолодженні тіла за рахунок теплового контакту з іншим тілом іншої температури.

Знаючи геометричну форму тіла, початкову і граничну умови, можна розв'язати рівняння і знайти функцію розподілу температури в тілі в будь-якій момент часу. Отримана функція $T = f(x, y, z, \tau)$ повинна задовольняти диференціальне рівняння, а також початкову і граничну умови.

Приклад отриманих результатів у ПЗ «Лабораторія ІТМ» наведено на рис. 1. Після проведення експерименту отримано масив даних у вигляді таблиці розміром 4x1322 комірки.



Рис. 1. Вікно програми «Лабораторія ІТМ». Зміна температури у шарах биточків січених за часом

Отримані данні експортуються до програми MS Excel у вигляді таблиці з двома стовпчиками «час» та «температура». В табличному процесорі, за допомогою вбудованих інструментів, данні суміщаються на одному листі, будується та аналізується графік. Приклад отриманого графіку для биточків січених наведено на рис. 2.

Проаналізувавши графік змін температури у шарах продукту за часом, можна чітко визначити наступне.

На 570с. експерименту робочу камеру термошафи було відкрито на 35...45 с, для перевірки консистенції виробу. На графіку можна спостерігати падіння температури у зовнішньому та жировому шарах продукту. Перевірка консистенції є обов'язковою технологічною операцією, яка дозволяє отримати продукт стабільної якості із різної сировини.

При досягненні шаром продукту температури 64...65 °С, відбувається денатурація білків, при цьому звільняється велика кількість зв'язаної білком вологи.

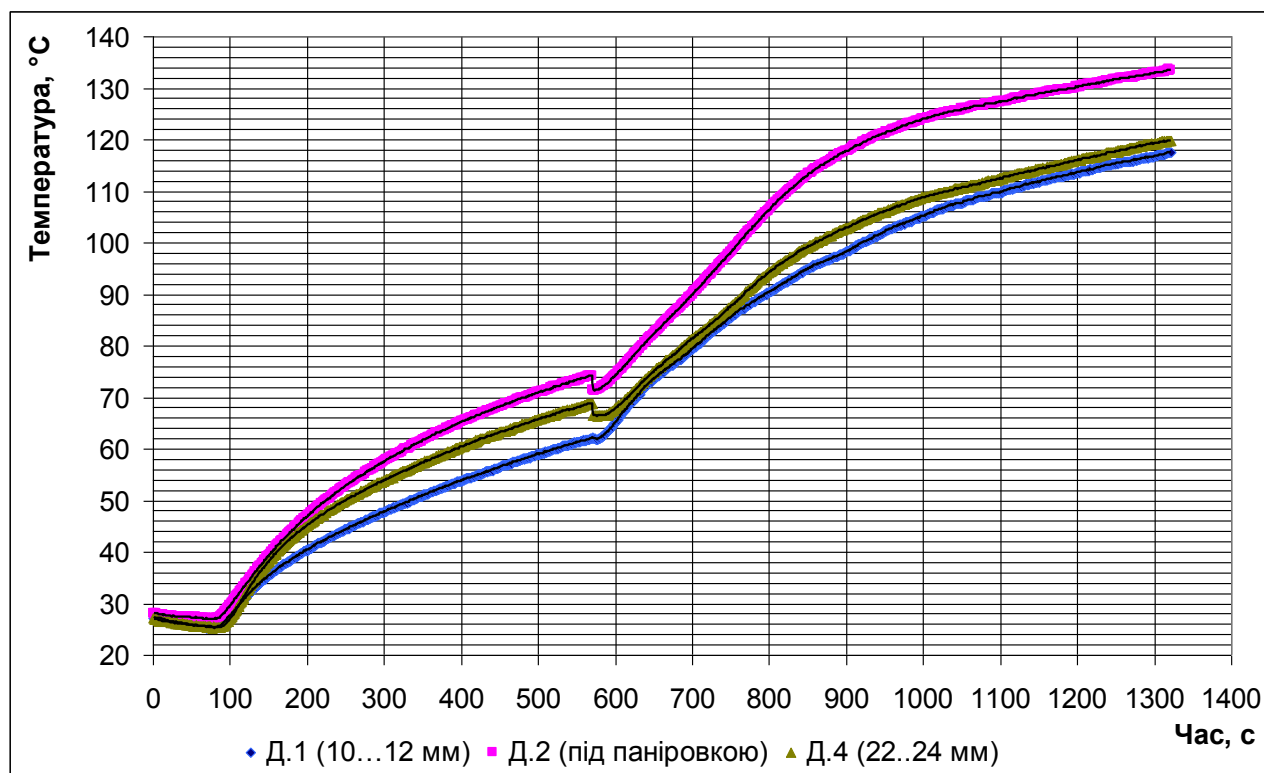


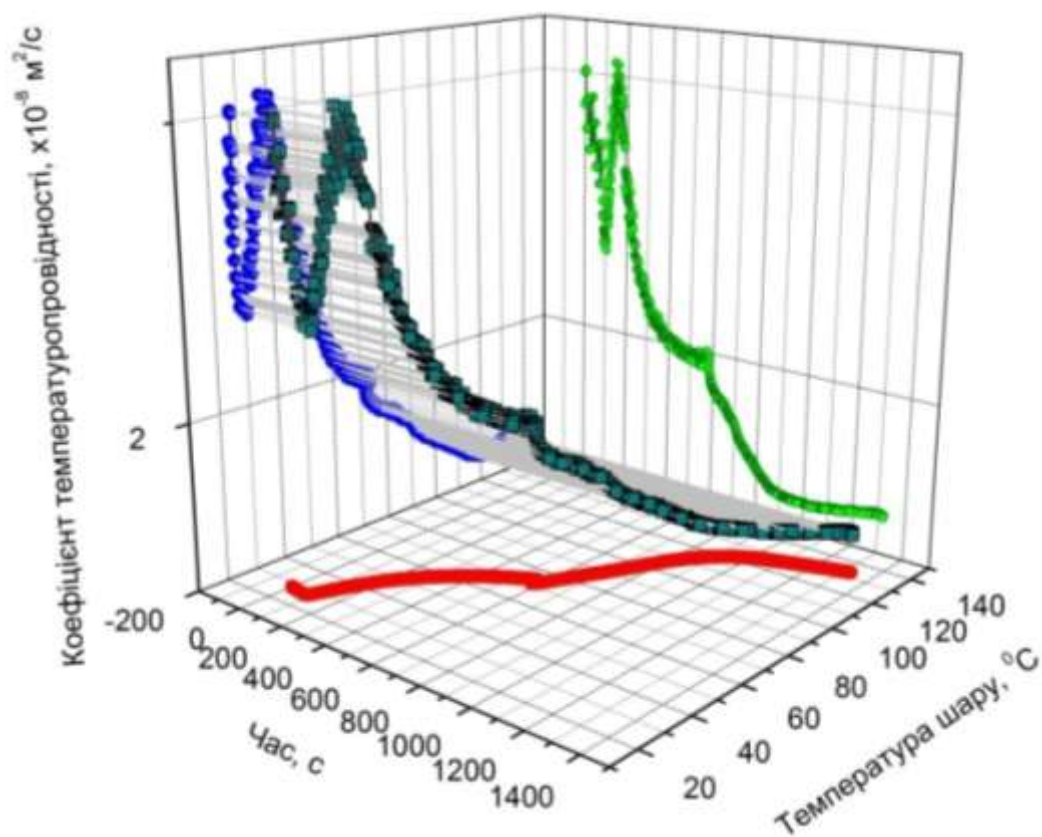
Рис. 2. Динаміка зміни температури у шарах биточків січених під час термічної обробки (Д.1 – датчик №1; (10...12мм) – глибина занурення датчику і січену масу без урахування товщини паніровки. Датчик №2 було розміщено на межі січеної котлетної маси та паніровки

Рух вологи у продукті вирівнює температуру у внутрішніх шарах. Окрім того суттєво зменшується різниця між температурою у верхньому шарі продукту та внутрішніх шарах, що також вказує на інтенсифікацію процесів тепло масообміну.

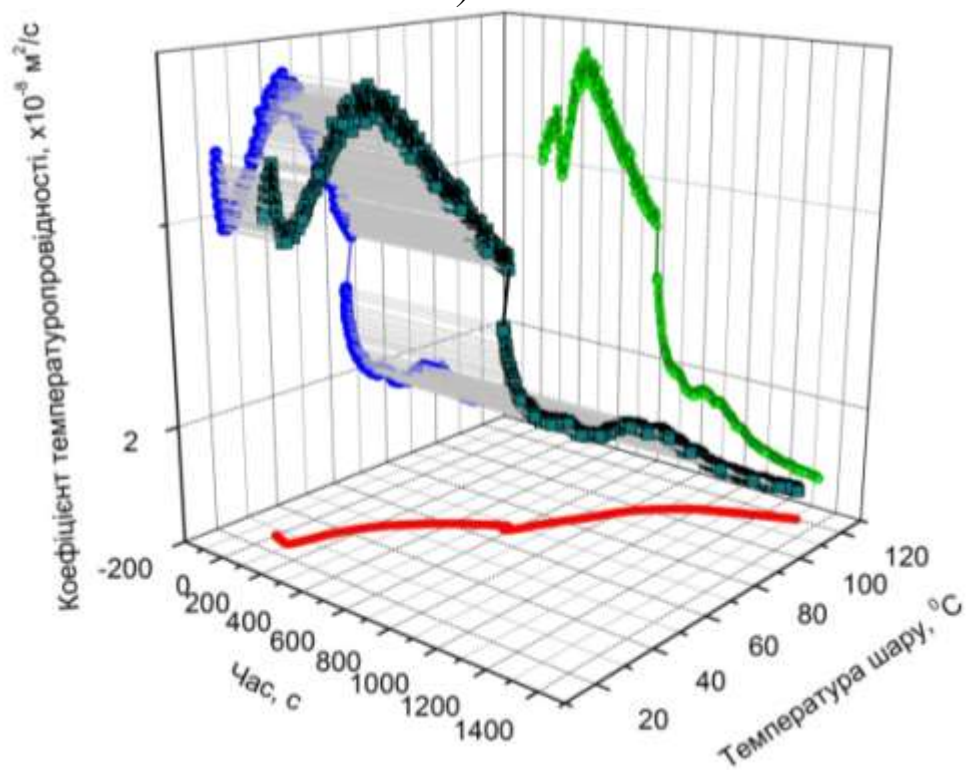
При досягненні внутрішніми шарами продукту температури понад 90°C, внаслідок суттєвих втрат вологи, процес теплообміну сповільнюється та зростає різниця між температурою шарів.

У зовнішньому шарі продукту відбувається формування скоринки, яке супроводжується утворенням пустот між основною частиною продукту та верхнім шаром, наповнених повітрям та водяною парою. Утворення пароповітряного прошарку, збільшує різницю температур між внутрішніми та зовнішніми шарами продукту. Після 1050 с термічної обробки температура всередині внутрішніх шарів стабілізується.

Після аналізу динаміки температури у зразку продукту, знаючи геометричну форму, розміри зразка та табличні значення теплопровідності харчових продуктів [6], було обраховано коефіцієнт температуропровідності окремих шарів биточків січених під час термічної обробки.



а)



б)

Рис. 3. Зміни коефіцієнтів температуропровідності різних шарів биточків січених під час термічної обробки: а) – паніровки, б) - січеної котлетної маси

Проаналізувавши рис. 3, можна виділити дві основні ділянки. За температури $<60^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт температуропровідності змінюється стрибкоподібно, що пов'язано, скоріш за все, із появою рідин у вигляді вільної вологи та розплавленого жиру, коливання температуропровідності на цій ділянці сягають 20%. За температури понад 60°C коефіцієнт температуропровідності поступово зменшується, сягаючи значень $1,58 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ для паніровки та $1,43 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ для січеної котлетної маси.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень було апробовано обладнання та методику визначення коефіцієнту температуропровідності харчових продуктів правильної геометричної форми під час термічної обробки з інтервалом 1 с або $0,15^{\circ}\text{C}$. Визначено динаміку температуропровідності паніровки та котлетної маси биточків січених. Встановлено, що зміни коефіцієнту температуропровідності сягають 56,8% від його попередніх значень.

Отже, розроблений метод дозволяє визначати коефіцієнт температуропровідності окремих шарів харчових продуктів, проте запропонована методика обрахунків базується за табличних значеннях теплопровідності окремих компонентів продуктів, тому перспективою подальших досліджень є конструювання установки для комплексного визначення густини, тепло- і температуропровідності, ентальпії та швидкості теплопередачі окремої частини кулінарного виробу.

Автори статті запрошують науковців до співпраці з метою дослідження теплофізичних властивостей нових харчових продуктів.

Література

1. Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів : Навч. посіб / М.М. Масліков. — К.: НУХТ, 2007. — 335 с.
2. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник / А. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
3. Одарченко М.С. Випікання тіста та взаємозв'язок вологості та теплопровідності готових виробів / Одарченко М.С., Сесь А.М., Михайлик В.І., Рєзвіна О.В. // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2006. – Вип. 1 С. 309-313.
4. Форостяна Н.П. Використання універсального вимірювального комп'ютерного приладу у дослідженнях теплофізичних характеристик харчових продуктів / Н.П.Форостяна, С.Л.Шаповал, Р.П. Романенко, О.В. Піскун // Науковий часопису Національного педагогічного університету імені М.П.Драгоманова. Серія 5, №40, 2013р с.-243-250
5. Diakov O. V., Belinska S. O., Safety of quick - frozen juices with pulp. // Науково-виробничий журнал «Харчова наука і технологія». – 2014. – № 3 (28). – С. 58-61
6. Шаповал С.Л. Лабораторний практикум. Рекомендації до виконання науково-дослідних робіт на УВКП / С.Л. Шаповал, Н.П. Форостяна, Ю.В. Литвинов, Р.П. Романенко. – К.: Київ. нац. торг.-економ. ун-т, 2013. – 92с.

Стаття постуила в редакцію 22.12.2014