

**Нінель ДРОБА,  
Олена РОМАНЕНКО,  
Роман РОМАНЕНКО**

## **ТЕПЛОФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПІСОЧНОГО ПЕЧИВА ПРИ ВИПІКАННІ**

Опірність організму людини щодо впливу шкідливих для здоров'я факторів визначається переважно станом фізіологічної системи антиоксидантного захисту, важливим елементом якої є селен. Його сполуки володіють антиоксидантною дією, запобігають розвитку міокардіопатії, атеросклерозу тощо, а при недостатній кількості – порушується робота щитовидної залози, підвищується чутливість організму до токсикозів<sup>1</sup>.

Переважає більшість борошняних кондитерських виробів не відповідають вимогам нутриціології внаслідок перевантаження вуглеводами, недостатньої кількості поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин. Розроблена технологія пісочного печива з

---

© Нінель Дроба, Олена Романенко, Роман Романенко, 2008

<sup>1</sup> *Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А., Голубкина Н.А., Кушлинский Н.Е., Соколов Я.А. Селен в организме человека. – М.: Изд-во РАМН, 2002. – 219 с.*

використанням олій льону та розторопші з селеном зумовлює покращання якості продукту<sup>2</sup>.

Визначено теплофізичні властивості та температурні градієнти нових виробів і контрольного зразка (печиво "Суворівське", рецептура № 185<sup>3</sup>) на стадії випікання.

Вимірювання зміни температури всередині зразків пісочного тіста проведено універсальним приладом фірми ІТМ (м. Харків, Україна). На ньому встановлено десятирозрядний процесор, який дає  $2^{10}=1024$  одиниці. Датчик для вимірювання температури (напівпровідниковий термометр на металевому щупі) градуйовано від 10.05 до 269.25 °С, тобто ціна поділки відповідала 0.27 °С.

Температуру на глибині 3–4 мм від поверхні печива визначено цифровим мультиметром ЛТ-168 із градуйованою термопарою (Ni–Si), область вимірювання якої перебуває в межах 5–450 °С з ціною поділки 1 °С.

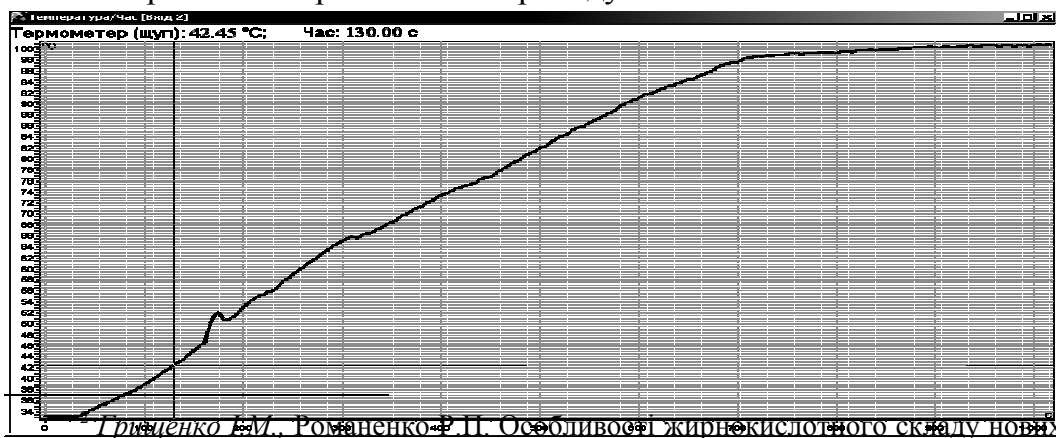
Пісочне тісто, сформоване в циліндри, відрізняється за розмірами й складом залежно від рецептури (табл. 1).

Таблиця 1

Розміри та характеристика зразків пісочного тіста

Зразок тіста	Габаритні розміри, мм		Вміст, %	
	діаметр (D)	висота (h)	води	олії
Контроль	100±3.5	13±0.5	19.5±0.5	0
З льняною олією	125±3.5	9±0.5	16.95±0.4	7.5±0.3
З олією розторопші	95±3.5	16±0.5	13.0±0.4	15.0±0.3

На першому етапі досліджень зразки печива піддано термічній обробці при температурі теплоносія 260 °С протягом 1000–1200 с. На рис. 1 наведено експериментально отриману криву нагрівання центральної частини печива з льняною олією за допомогою універсального комп'ютерного вимірювального приладу.



Гриценко К.М., Романенко Р.П. Особливості жирнокислотного складу нових

видів цукрового печива // Товари і ринки. – 2007. – № 2. – С. 136-141.

<sup>3</sup> Сборник основных рецептов сахаристых кондитерских изделий. – СПб:

Гиорд, 2003. – 240 с.

Рис. 1. Термограма пісочного тіста з льняною олією

Прослідковується майже пряма залежність зміни температури від часу випікання зразка. Перехід кривої у горизонтальне положення свідчить про врівноваження температур, що трапляється при готовності виробу, коли його температура повинна зрівнятися з температурою навколишнього середовища. Діаграми всіх дослідних зразків дали підстави стверджувати, що додавання олій льону або розторопші плямистої скорочує час випікання печива.

Визначення теплопровідності продукту є актуальним і водночас складним процесом. Оскільки пісочне тісто не є абсолютно однорідним, його не можна розглядати як тверде чи аморфне тіло. Площа поверхні виробу не гладка, тому визначається приблизно. Реально вона буде більшою. Крім того, об'єм печива під час випікання змінюється не лінійно, через що отримані дані є попередніми й вимагають уточнення.

Для опрацювання результатів дослідження застосовано типову теорію теплопровідності<sup>4</sup>. Тіло, яке перебуває в просторі зі сталою температурою (як у випадку під час випікання печива), розуміється як таке, що перебуває в температурному полі. За його визначенням, в кожній точці простору температура однакова, отже випікання розглядається як ізотермічний процес.

Оскільки температура є мірою середньої кінетичної енергії руху молекул, то нагрівання об'єкту дослідження проходить під час співударів молекул повітря об виріб – таким чином вони передають теплову енергію молекулам виробу. У подальшому передача енергії відбувається в самому виробі у напрямку центру. Ось чому для аналізу передачі теплоти в пісочному тісті знято діаграми залежності зміни температури з часом. Контрольних точок було дві: одна на глибині 3–4 мм від поверхні виробу, інша – в його центрі.

У процесі випікання печива всі зразки змінили форму з циліндрів на сегмент сфери. Розріз проходить через центр об'єкту. За допомогою програми *AutoCad* визначено середні радіуси досліджуваних зразків печива (рис. 2).

<sup>4</sup> Крутов В.И., Арханов А.М., Исаев С.И. Теплотехника. – М.: Машиностроение, 1986. – 426 с.

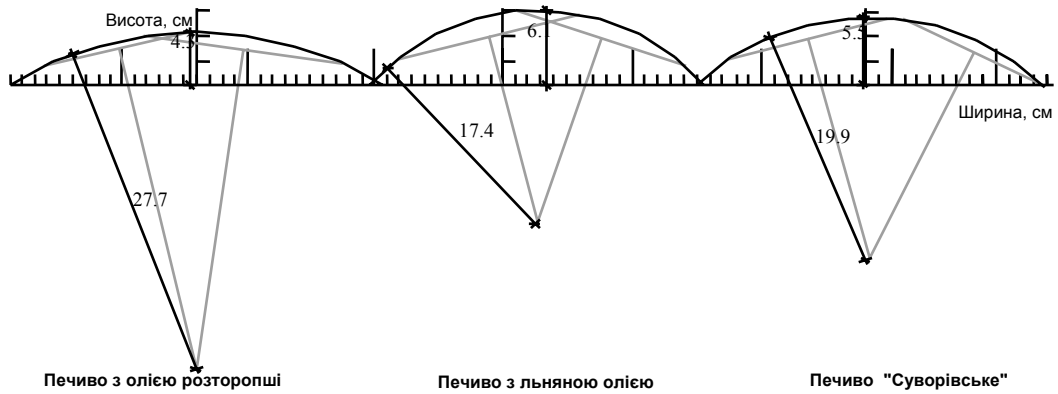


Рис. 2. Визначення радіусів досліджуваних зразків печива

Об'єм підняття виробу над початковою циліндричною формою визначено за формулою:

$$V = \pi H^2 \left( R - \frac{H}{3} \right), \quad (1)$$

- $V_{11} = 0.001729 \text{ м}^3$  – печиво "Суворівське" (контроль);  
 $V_{21} = 0.001845 \text{ м}^3$  – печиво з льняною олією;  
 $V_{31} = 0.001544 \text{ м}^3$  – печиво з олією розторопші.

Початковий об'єм виробів розраховано за формулою:

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3, \quad (2)$$

- $V_{01} = 0.033060 \text{ м}^3$  – печиво "Суворівське" (контроль);  
 $V_{02} = 0.022411 \text{ м}^3$  – печиво з льняною олією;  
 $V_{03} = 0.089705 \text{ м}^3$  – печиво з олією розторопші.

Сумарний об'єм зразків печива після випічки становить:

$$V_i = V_{oi} + V_{1i}, \quad (3)$$

$$V_1 = 0.035329 \text{ м}^3; \quad V_2 = 0.024256 \text{ м}^3; \quad V_3 = 0.091248 \text{ м}^3.$$

Для визначення коефіцієнта об'ємного розширення ( $1/K$ ) об'єктів дослідження застосовано формулу:

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T), \quad (4)$$

- $\beta_1 = 0.00054$  – в центрі виробу;  $\beta'_1 = 0.00073$ ;  $\Delta \beta_1 = 0.00019$ .  
 $\beta_2 = 0.00086$  – в центрі виробу;  $\beta'_2 = 0.00114$ ;  $\Delta \beta_2 = 0.00028$ .  
 $\beta_3 = 0.00022$  – в центрі виробу;  $\beta'_3 = 0.00024$ ;  $\Delta \beta_3 = 0.00002$ .

Коефіцієнт об'ємного розширення печива з льняною олією виявився вищим за інші, внаслідок чого виріб матиме більші об'єм, пористість, висоту й відповідно розсипчастішу консистенцію. Відмічено також, що контрольний зразок і печиво з льняною олією мають однакові температурні режими як під поверхнею, так і в центрі виробу, внаслідок чого коефіцієнт теплопередачі повинен бути приблизно однаковим для обох об'єктів дослідження.

Для визначення швидкості та прискорення зміни температури у зразках печива залежно від часу нагрівання знайдено першу та другу похідну рівнянь і представлено графіки залежності (рис. 3, 4, 5).

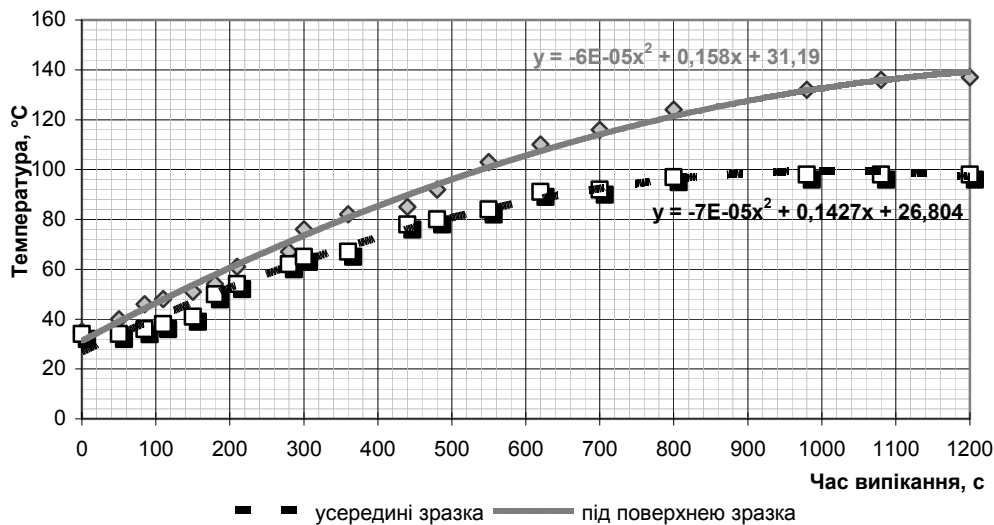


Рис. 3. Залежність температури усередині та під поверхнею контрольного зразка печива від часу нагрівання

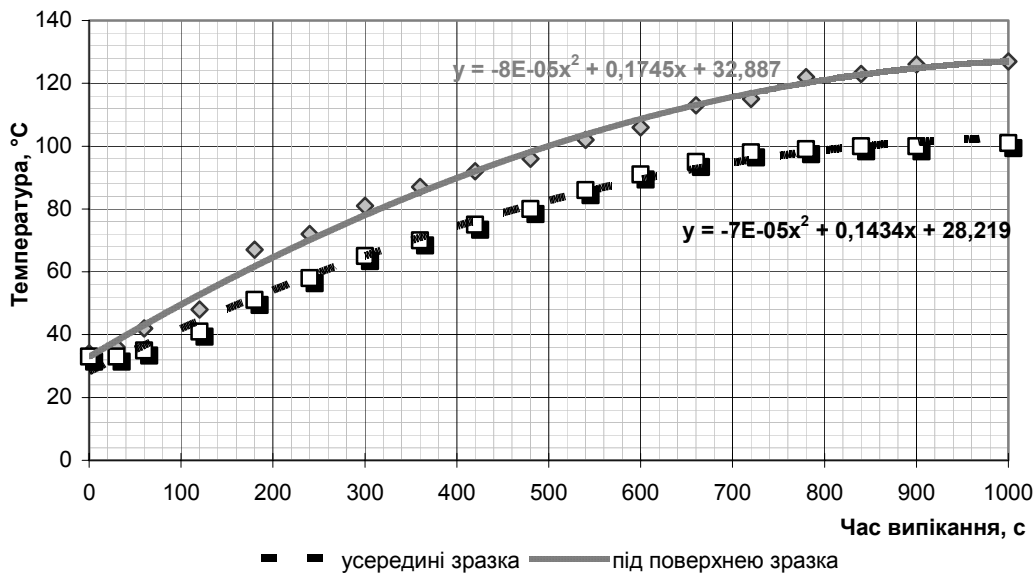


Рис. 4. Залежність температури усередині та під поверхнею печива з льняною олією від часу нагрівання

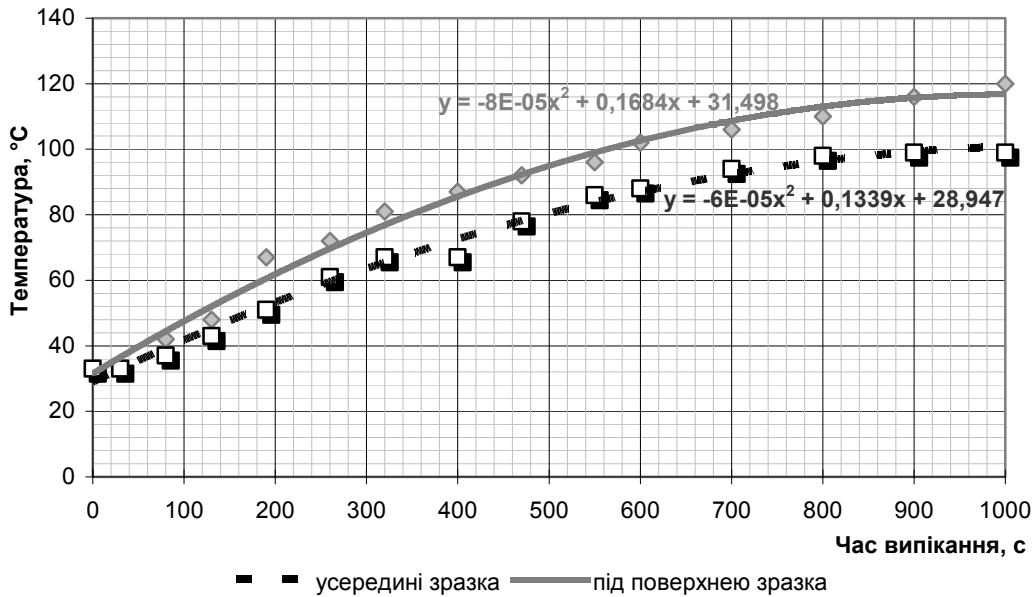


Рис. 5. Залежність температури усередині та під поверхнею печива з олією розторопші від часу нагрівання

За отриманими графіками можна відзначити, що зразки з льняною олією й олією розторопші мають практично однакову швидкість зміни температури у поверхневому шарі на відміну від меншої швидкості контрольного зразка. Проте передача теплової енергії до центру виробу швидше у зразку з льняною олією, трохи повільніша у печиві з олією розторопші та найповільніша у контролі.

Розрахунок теплофізичних характеристик проведено за феноменологічною теорією теплопровідності Фур'є. Для одномірного теплового поля застосовано тепловий потік за формулою:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності.

Скориставшись рівнянням теплового балансу, отримано кількість теплоти, яку набирають зразки печива через 40 с після початку експерименту:  $Q = 2684.56$  Дж.

Тепловий потік, що пронизував стінку циліндричних зразків у перші 40 с, відповідно становив, Вт/м:  $q_1 = 206.5$ ;  $q_2 = 298.3$ ;  $q_3 = 167.8$ .

Розраховано коефіцієнти теплопровідності для дослідних зразків, Вт/мК:  $\lambda_1 = 0.595$ ;  $\lambda_2 = 0.69$ ;  $\lambda_3 = 0.633$ .

Також розраховано передачу кількості теплоти від краю зразка до його центру. Встановлено, що коефіцієнт теплопровідності зменшується внаслідок зниження кількості теплоти, переданої від шару до шару. Наприклад, для контрольного зразка отримано такий ряд, Вт/мК: 0.5950; 0.5312; 0.1206; 0.0376 ...

Кількість теплоти при переході від шару до шару виробу зменшується. Наприклад, для контрольного зразка біля поверхні  $Q = 2684.56$  Дж, через 4 мм  $Q = 2456.22$  Дж, через 8 мм  $Q = 2426.65$  Дж і т. д.

Таким чином, визначено оптимальні температури випікання нових видів пісочного печива: з льняною олією –  $200^{\circ}\text{C}$ , з олією розтопші –  $190^{\circ}\text{C}$ ; температура всередині зразків пісочного печива не перевищує  $100\text{--}101^{\circ}\text{C}$ , що приводить до зменшення втрат селену та уповільнення окисної деструкції поліненасичених жирних кислот.