

М.Г. Десик, асп.,

В.І. Теличкун, канд. техн. наук,

Ю.С. Теличкун, канд. техн. наук,

А.І. Германчук, асп.

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХЛІБА НА ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Визначено вплив геометричних параметрів хліба на інтенсивність тепломасообмінних процесів. Запропоновано при визначенні еквівалентного геометричного розміру враховувати коефіцієнт співвідношення розмірів. Отримана формула для визначення площі поверхні круглого подового хліба. Встановлена залежність еквівалентного розміру від співвідношення діаметру заготовки до її висоти.

Ключові слова: площа поверхні хліба, об'єм хліба, еквівалентний геометричний розмір, тривалість випікання.

The influence of geometrical parameters of bread on the intensity heat and mass transfer processes. It is proposed to determine the equivalent

geometric factor to take into account the coefficient of size ratio. We obtain a formula for determining the surface area of Round bread. Established the dependence of equivalent size on the ratio of the diameter of blanks to its height.

Key words: surface area of bread, bread volume, equivalent to geometric size, duration of baking.

При радіаційно-конвективному способі випікання тіста-хліба відбуваються тепломасообмінні процеси, які приводять до прогріву тістової заготовки і зменшенню її маси за рахунок випаровування вологи з її поверхні.

Основними показниками, які характеризують процес випікання, є температура центра заготовки та величина упікання. Кінцева температура центра заготовки обмежується температурою кипіння рідини у тісті, яка залежить від рецептури й умов випікання і знаходиться в межах 98 – 103 °C [1]

Величина упікання показує кількість випареної з заготовки вологи при випіканні і в сучасних хлібопекарних печах коливається в межах від 7 % до 12 % і більше в залежності від асортименту, параметрів середовища пекарної камери.

Процеси тепломасообміну тістової заготовки з середовищем пекарної камери, в умовах радіаційно-конвективного обігріву, відбуваються через поверхню тіста-хліба, тому за рівних умов режиму роботи пекарної камери під час випікання тістових заготовок з однаковими масами та властивостями, інтенсивність вологовіддачі і тривалість процесу випікання буде залежати від площі поверхні тіста-хліба, яка в свою чергу залежить від його форми та розмірів.

В зв'язку з цим питання впливу форми та розмірів виробів на інтенсивність тепломасообміну і питома подозавантаження представляє як науковий так і практичний інтерес.

В аналітичній теорії теплопровідності розглядаються, як правило, прості симетричні тіла (куля, циліндр, пластина) які мають симетричні температурні поля, однак хлібобулочні вироби в більшості випадків відрізняються від тіл правильної геометричної форми і ряд науковців займалися дослідженням температурних полів тіл різної конфігурації.

© М.Г. Десик, В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.І. Германчук, 2012

О.В. Ликовим введено поняття визначального геометричного розміру, який приймають як відношення об'єму V заготовки до площі F поверхні теплообміну [2].

$$R = \frac{V}{F} \quad (1)$$

А.І. Вейником проведені роботи по визначенню впливу форми тіл на швидкість теплообміну [3] і розроблений метод наближеного визначення температурних полів різних тіл, у якому температурні поля різної конфігурації порівнюються з температурними полями трьох основних симетричних тіл — кулі, циліндра й пластини. А.Г. Темкин [4], показав доцільність введення критерію форми тіла, що не залежить від його розміру.

Однак отримані співвідношення не дають точного відображення інтенсивності прогрівання зразків тіста-хліба в процесі випікання. Тому нами запропоновано ввести коефіцієнт, який би враховував співвідношення 3-х геометричних кінцевих розмірів заготовки. Даний коефіцієнт визначається як сума співвідношень розмірів, уздовж якого проходить нагрівання до всіх вимірів заготовки:

$$i = \frac{x}{x} + \frac{x}{y} + \frac{x}{z} \quad (2)$$

де x — розмір заготовки, уздовж якого спрямований тепловий потік, м; y, z — два інших розміри, м.

Для тіл, які мають три виміри однакового порядку (куля, куб) даний коефіцієнт дорівнює 3; для тіл, які мають два виміри однакового порядку (циліндр) даний коефіцієнт дорівнює 2; для тіл, які мають один вимір однакового порядку (пластина) даний коефіцієнт дорівнює 1.

Тоді визначальний геометричний розмір може бути записаний

$$R = i \frac{V}{F} \quad (3)$$

Виходячи з вище запропонованої формули для визначення R , необхідно знати об'єм заготовки, її площу й геометричні розміри.

Найпоширенішими формами хлібобулочних виробів є: паралелепіпед — для формових виробів; циліндр — для багетоподібних виробів; тіла обертання — для подового хліба, булочок.

Розрахунок об'єму й площі поверхні заготовок, які мають форму паралелепіпеда й циліндра не складні, також відома формула для визначення об'єму круглого подового хліба [5]:

$$V = 0.513 \cdot d^2 \cdot h \cdot k \quad (4)$$

де d — діаметр хліба, м; h — висота хліба, м; k — коефіцієнт який враховує відхилення від геометрично правильної форми, $k = 1.09$.

Разом із цим у літературі відсутня інформація по визначенню площі поверхні круглого подового хліба й залежності цієї величини від співвідношення діаметра і висоти заготовки. Нами для визначення площі поверхні круглого подового хліба застосована формула площі поверхні тіла обертання

$$F = 2 \cdot \pi \int_a^b f(y) \sqrt{1 + (f'(y))^2} dy \quad (5)$$

Для спрощення розрахунку площі поверхні, розбиваємо її на правильні геометричні фігури (рис. 1). Приймаємо, що ділянка поверхні ОА (нижня поверхня хліба) є коло, площею F_{OA} , що описується радіусом l . Ділянка АВ — поверхня, площею F_{AB} утворена обертанням частиною кола радіусом r на відстані від центра обертання l (частина тороїда), ділянка ВС — площа F_{BC} половина поверхні вкороченого еліпсоїда (утвореного обертанням навколо меншої вісі).

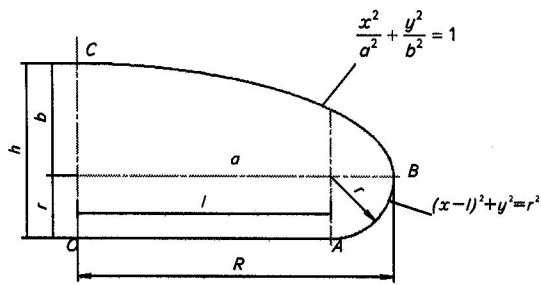


Рис. 1. Контур круглого подового хліба

Тоді загальна площа поверхні хліба буде дорівнювати сумі площ складових:

$$F = F_{OA} + F_{AB} + F_{BC} \quad (6)$$

$$F = \pi l^2 + \pi r(\pi l + 2r) + 2\pi \frac{a}{b^2 c} \left[\frac{cb}{2} \sqrt{b^2(b^2 + c^2)} + \frac{b^4}{2} \ln \left| cb + \sqrt{b^2(b^2 + c^2)} \right| - \frac{b^4}{2} \ln b^2 \right] \quad (7)$$

де c — фокусна відстань

При співставленні результатів розрахованої площі поверхні круглого подового хліба, по отриманій формулі з площею поверхні кулі однакового об'єму з хлібом, нами отриманий коефіцієнт, який враховує співвідношення діаметра заготовки d до її висоти h .

$$n = 0,15 \cdot \frac{d}{h} + 0,76 \quad (8)$$

Таким чином, наближена формула для визначення площі поверхні круглого подового хліба набуде виду:

$$F \approx n \cdot 4\pi R_k^2 \quad (9)$$

де R_k — радіус кулі:

$$R_k = \sqrt[3]{V \frac{3}{4\pi}}$$

Залежність площі поверхні круглого подового хліба від визначального геометричного розміру, об'ємом $0,0005 \text{ м}^3$, розрахованих по точній і наближеній формулах показані на рис. 2

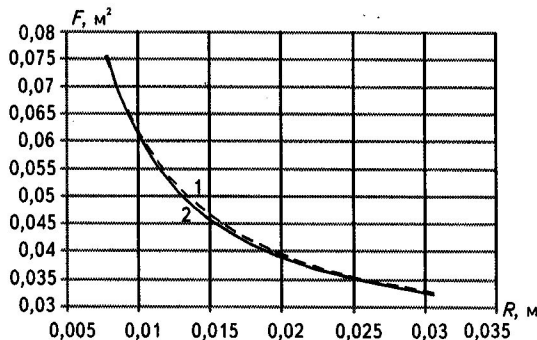


Рис. 2. Залежність площі поверхні круглого подового хліба, об'ємом $0,0005 \text{ м}^3$ від еквівалентного розміру:
1 — точна формула; 2 — наближена формула

Результати показують, що формули мають високу кореляцію і відхилення складають менше 5 %. Площа поверхні круглого подового хліба зменшується за степеневою залежністю зі збільшенням еквівалентного розміру, що у свою чергу залежить від співвідношення діаметра хліба до його висоти рис. 3.

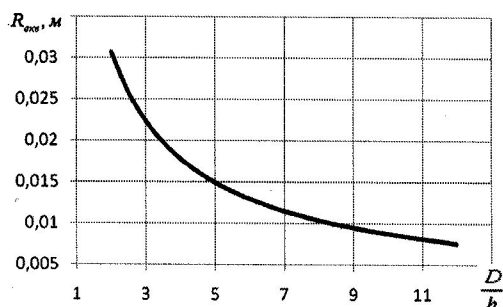


Рис. 3. Залежність еквівалентного розміру від співвідношення діаметра круглого подового хліба, об'ємом $0,0005 \text{ м}^3$, до його висоти

При відомих теплофізичних властивостях тіста-хліба і залежності площі поверхні й об'єму від його геометричних параметрів можемо знайти тривалість процесу випікання τ за формулою, що запропонована Д.В. Будріним:

$$\tau = \frac{R_{\text{екв}}^2}{a_{\text{екв}} \cdot \delta^2} \cdot \ln \left(\frac{M}{\Theta} \right) \quad (10)$$

де $R_{\text{екв}}$ — еквівалентний радіус хліба, м

$$R_{\text{екв}} = i \sqrt{\frac{V}{F}}$$

V — об'єм хліба, м^3 ; F — площа поверхні хліба, м^2 , $a_{\text{екв}}$ — еквівалентний коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$

$$a_{\text{екв}} = \frac{\lambda_{\text{екв}}}{c_{\text{екв}} \cdot \rho_{\text{екв}}}$$

$\rho_{\text{екв}}$ — еквівалентна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\rho_{\text{к}} \cdot S_{\text{к}} + 0.5 \cdot (\rho_{\text{т}} + \rho_{\text{м}}) \cdot S_{\text{м}}}{S_{\text{к}} + S_{\text{м}}}$$

$c_{\text{екв}}$ — еквівалентна питома теплоємність, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$

$$c_{\text{екв}} = \frac{c_{\text{к}} \cdot S_{\text{к}} + c_{\text{т,м}} \cdot S_{\text{м}}}{S_{\text{к}} + S_{\text{м}}}$$

$c_{\text{т,м}}$ — середня теплоємність тіста-м'якушки, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$

$$c_{\text{т,м}} = \frac{c_{\text{т}} + c_{\text{м}}}{2}$$

$\rho_{\text{к}}$, $\rho_{\text{т}}$, $\rho_{\text{м}}$ — густини відповідно скоринки, тіста та м'якушки, $\text{кг}/\text{м}^3$, $S_{\text{к}}$, $S_{\text{м}}$ — товщини відповідно скоринки й м'якушки, м, Θ — безрозмірна температура

$$\frac{1}{\Theta} = \frac{t_c - t_0}{t_c - t_{\text{хліба}}}$$

t_c — температура середовища пекарної камери, °C; t_0 — початкова температура заготовки, °C; $t_{\text{хліба}}$ — кінцева температура заготовки, °C; δ^2, M — коефіцієнти, які залежать від критерію Біо й знаходяться по таблиці [6]

Результати розрахунків тривалості процесу випікання заготовки, об'ємом 0,0005 м³, що має різну форму (паралелепіпед, циліндр, круглий подовий хліб) від еквівалентного розміру представлені на рис. 4.

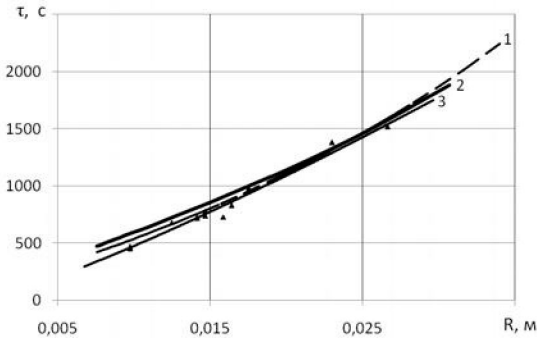


Рис. 4. Тривалість процесу випікання заготовки, об'ємом 0,0005 м³, від еквівалентного розміру:

- 1 — круглого подового хліба, 2 — виробів правильної геометричної форми (паралелепіпед, циліндр), 3 — експериментальні дані при випіканні виробів циліндричної форми

розміру з врахуванням коефіцієнту співвідношення розмірів заготовки та напрямку теплового потоку. Встановлена залежність визначального розміру від співвідношення діаметру круглого подового хліба до його висоти. Отримано формулу для визначення площі поверхні круглого подового хліба та залежність даної величини від визначального розміру. Встановлено, що при рівних еквівалентних розмірах тіла з різною формою мають однакову тривалість випікання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.С. Теплофизические основы процесса выпечки / Гинзбург А.С. — М.: Пищепромиздат, 1955. — 476 с.
2. Лыков А.В. Теплопроводность и диффузия / Лыков А.В. — М.: Гизлехпром, 1941.
3. Вейник А.И. Теория приближенного подобия в явлениях теплопроводности / Вейник А.И. // «Журнал технической физики» (ЖТФ). — 1950. — 20 с.
4. Темкин А.Г. Зависимость процесса сушки от формы тела / Темкин А.Г. — М.: Труды всесоюзного совещания по сушке, 1955.
5. Лисовенко А.Т. Процесс выпечки и тепловые режимы в современных хлебопекарных печах / А.Т. Лисовенко. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 214 с.
6. А.А. Михелев Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А. Михелев, Н.М. Ицкович. — М.: Пищевая промышленность, 1968. — 487 с.
7. Десик М.Г. Влияние геометрических параметров на динамику зовнішнього масообміну / Десик М.Г., Теличкун В.І., Теличкун Ю.С. // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 75-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 21-22 квітня 2009 р. — К.: НУХТ, 2009 — С. 234.

Одержана редколлегією 22.09.2011 р.