

В.І. Теличкун, канд. техн. наук

V. Telychkun

Ю.С. Теличкун, асистент

Yu. Telychkun

Горцепаєв В.Ю., магістр

V. Gortchpayev

РОЗРАХУНОК ЗМІНИ ОБ'ЄМУ ХЛІБА ПРИ ВИПІКАННІ

A CALCULATION OF CHANGE OF VOLUME OF BREAD IS AT BAKING

Створена математична модель розрахунку об'єму тістової заготовки при випіканні. Виконано розрахунок росту конкретної заготовки

Ключові слова: об'єм хліба, прогрівання, висота тістової заготовки, апроксимація, математична модель

The mathematical model of calculation of dough purveyance at baking is created. The calculation of growth of concrete purveyance is executed.

Key words: volume of bread, warming up, height of dough purveyance, approximation, mathematical model

Вітчизняна хлібопекарська промисловість використовує різноманітні печі, що відрізняються між собою продуктивністю, особливостями конструкцій, системою підведення та розподілення тепла, стабільністю роботи і якості готової продукції.

Існуючі методики розрахунку печей передбачають визначення продуктивності печі, кількості тепла і палива, необхідного для нагрівання тістової заготовки, але не враховують внутрішніх теплових процесів і процесів формування ряду показників якості хліба (колір, глянець, форма, об'єм, смак, аромат та інші).

Наукове обґрунтування внутрішніх процесів тепломасообміну при випіканні тістової заготовки, вивчення процесів формування окремих показників якості готової продукції дасть змогу створити математичну модель процесу випікання хліба та обґрунтування оптимальних умов випікання, і, відповідно, формування вимог до теплового режиму та конструкції печі.

Нами проведено експериментальні дослідження процесу формування об'єму хліба під час випікання, його залежність від зміни температури та створена математична модель даного процесу.

Для розрахунку зміни об'єму тістової заготовки пошарово в часі використовуємо залежність, що зв'язує такі величини як температура шару, віддаленість шару від скоринки та час випікання. Дані величини беремо з експериментального температурного поля [1] та, використовуючи принцип дробного факторного експерименту, а також скориставшись однією з таких систем автоматизованого проектування як Mathcad, апроксимуємо математичний вираз залежності температури шару тістової заготовки в часі по висоті виробу.

В результаті отримуємо регресійне рівняння, що фактично є функцією температури t від часу τ та віддаленості від зовнішньої оболонки h заготовки $t = f(\tau, h)$.

$$t = 0.193206 + 5.81414 \cdot \frac{\tau}{22} - 7.18212 \cdot h + 16.7819 \cdot \frac{\tau}{22} \cdot h - 12.0673 \cdot \left(\frac{\tau}{22}\right)^2 - 15.9614 \cdot h^2 + 6.19982 \times \\ \times \left(h \cdot \frac{\tau}{22}\right)^2 + 7.43627 \cdot \left(\frac{\tau}{22}\right)^3 + 8.35876 \cdot h^3 - 0.13005 \cdot \left(h \cdot \frac{22}{\tau}\right)^2 + 4.424458 \cdot \left(h^2 \cdot \frac{22}{\tau}\right) - 9.63464 \times \\ \times \left(\frac{\tau}{22}\right)^3 \cdot h - \frac{0.093132 \cdot h^{2.5}}{\left(\frac{\tau}{22}\right)^2}$$

Дана емпірична формула розрахована для білого подового хліба масою 450г, що випікався впродовж 22 хвилин в експериментальній установці.

Слід відзначити, що в даному розрахунку взято до уваги тільки зміни, що відбуваються в м'якушці хліба, фактично нехтуючи верхньою та нижньою скоринками, оскільки теплофізичні характеристики останніх значно відрізняються від відповідних характеристик м'якушки, тому розглядати їх потрібно як три різних системи, крім того розміри скоринки фактично не впливають на зміну об'єму хліба.

Накладаємо початкові та граничні умови, тобто приймаємо, що при досягненні певним i -м шаром температури 100°C , температура залишається сталою і рівною 100°C та не може бути меншою за 32°C .

В подальшому розрахунку використовуємо тільки верхню половину паляниці (величина h лежить в межах від 0 до 0.5 загальної висоти), що частково спрощує обчислення. Вводимо перше припущення, що температурне поле нижньої чверті паляниці ідентичне верхній чверті та симетричне відносно температурного центру прогрівання хліба.

Об'єм хліба в процесі випікання розраховується за наступною формулою [2]:

$$V_{\tau} = V_{\tau-1} + K(t) \cdot V_{\tau-1} \cdot \Delta\tau ,$$

де V_{τ} – об'єм хліба в поточний момент часу, м^3 ;

$V_{\tau-1}$ - об'єм хліба в попередній момент часу, м^3 ;

$\Delta\tau$ - інтервал часу, хв;

$K(t)$ - коефіцієнт залежності активності бродіння від температури.

Коефіцієнт залежності активності бродіння вводимо з огляду на те, що активність бродіння змінюється зі зміною температури. Використовуючи отримані нами експериментальні дані росту об'єму при різних температурах [2] нами побудована залежність активності бродіння

від температури після 2,5 годин бродіння тіста. Цю залежність можна наближено описати наступною формулою:

$$K = \frac{(1.454347 \cdot e^{0.0369375 \cdot t + 0.123125} - 2.768602 \cdot 10^{-2} \cdot e^{0.1079955 \cdot t + 0.3599849} - 3.26)}{8.45652} + 0.00575$$

Розрахунок зміни об'єму тістової заготовки виконуємо наступним чином: розбиваємо верхню чверть тістової заготовки на десять частин з рівним кроком по радіусу основи паляниці, розраховуємо початковий об'єм даного шару, а потім розраховуємо зміну об'єму кожного і-го шару на кожній хвилині впродовж випікання.

Для графічної ілюстрації, введемо систему координат. Вісь ОХ направимо по радіусу основи тістової заготовки, а вісь основи проходить перпендикулярно до центру хліба (рис. 1).

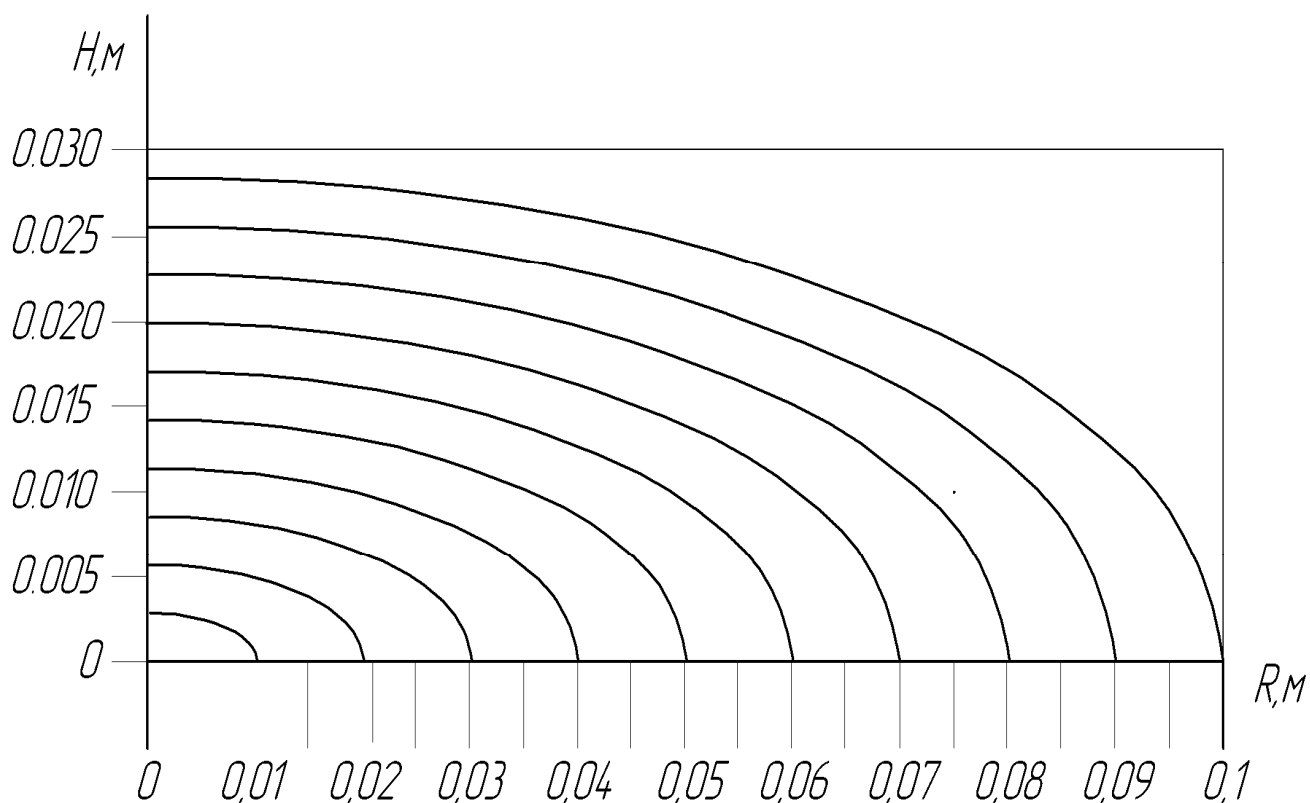


Рис.1 Графічне зображення чверті паляниці тіста-хліба

Для визначення температури всередині заготовки розбиваємо її на шари з рівномірним кроком по осі OX і OY , описані за рівнянням еліпса. Для спрощення розрахунку об'єму, приймаємо, що температура всередині одного шару впродовж однієї хвилини стала і дорівнює значенню температури, що знаходиться в центрі даного шару, розрахованої по апроксимованій формулі для температурного поля.

Оскільки, зміну об'єму в процесі випікання безпосередньо виміряти неможливо, то його зміну будемо пов'язувати зі зміною висоти тіста-хліба.

Для того, щоб знайти зв'язок між висотою та об'ємом подового хліба, була досліджена геометрія подового хліба та встановлені деякі залежності між характерними розмірами тіста і готового хліба. Було підібрано емпіричні формули для опису кривих контуру паляниці у діаметральному перерізі [3].

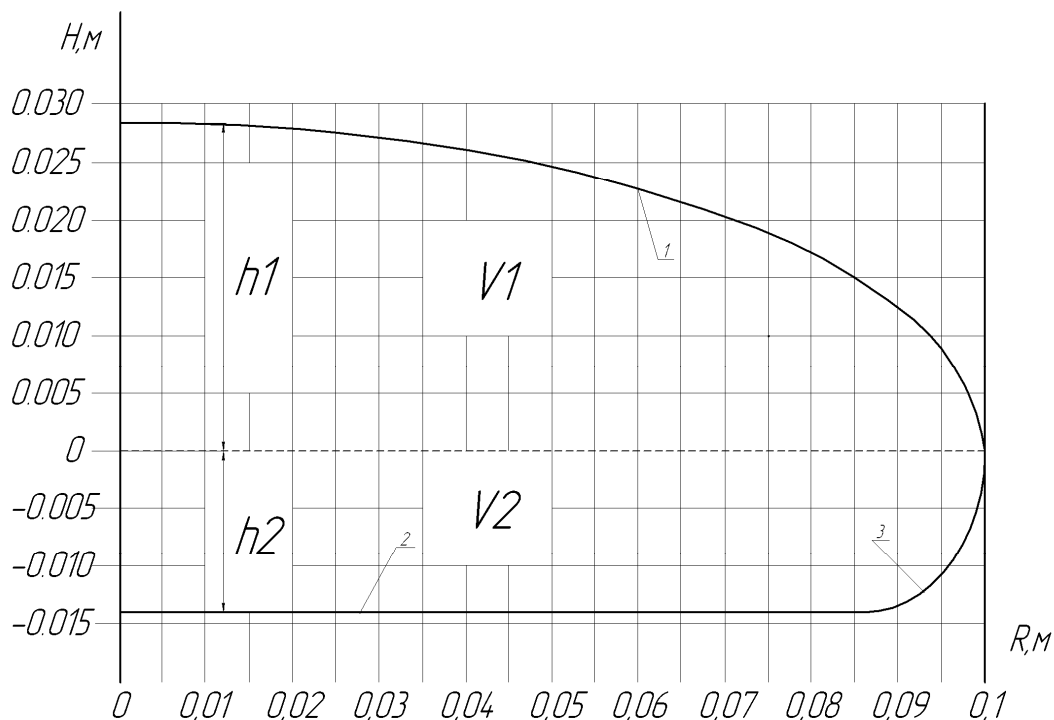


Рис.2 Графічне зображення половини паляниці хліба.

На лініях виносках позначено математичні залежності, що описують контур відповідної кривої, де

$$1. y^2 = b^2 - x^2 + \frac{b^2}{x^2}$$

$$2. y^2 + (x-a)^2 = R^2$$

$$3. y = c$$

Математичний вираз залежності був отриманий шляхом визначення об'єму, утвореного обертанням навколо осі у кривої контуру діаметрального перерізу хліба. Для подового круглого хліба верхня частина поверхні описується рівнянням еліпса:

$$y^2 = b^2 - x^2 + \frac{b^2}{x^2},$$

де b – розрахункова висота тістової заготовки, приймаємо $2/3$ висоти всієї паляниці перед посадкою в піч;

x – радіус паляниці перед посадкою в піч.

Об'єм тіла обертання розраховуємо окремо. Для верхньої частини V_1 знаходимо шляхом інтегрування в межах від $y = 0$ до $y = h_1 = 0.66h$.

$$V(H, R) := \pi \cdot \frac{R^2}{H(R)^2} \cdot \int_0^{H(R)} (H(R)^2 - y^2) dy$$

де R – радіус розрахункового шару паляниці;

$H(R)$ – висота розрахункового шару паляниці.

Розрахунок починаємо з найбільш віддаленого від скоринки шару тістової заготовки. В результаті розрахунку отримуємо чисельні значення зміни об'єму тістової заготовки в кожному i -му шарі впродовж випікання з заданим інтервалом.

Обчислюємо загальну зміну об'єму паляниці в процесі випікання на кожній i -й хвилині.

Аналогічним чином виконуємо пошаровий розрахунок нижньої чверті паляниці.

Для спрощення ілюстрації зміни об'єму тіста-хліба в часі приймемо, що вся зміна об'єму хліба йде тільки на збільшення висоти заготовки, а на радіус ніякого впливу не має. Тоді графік зміни об'єму паляниці матиме наступний вигляд:

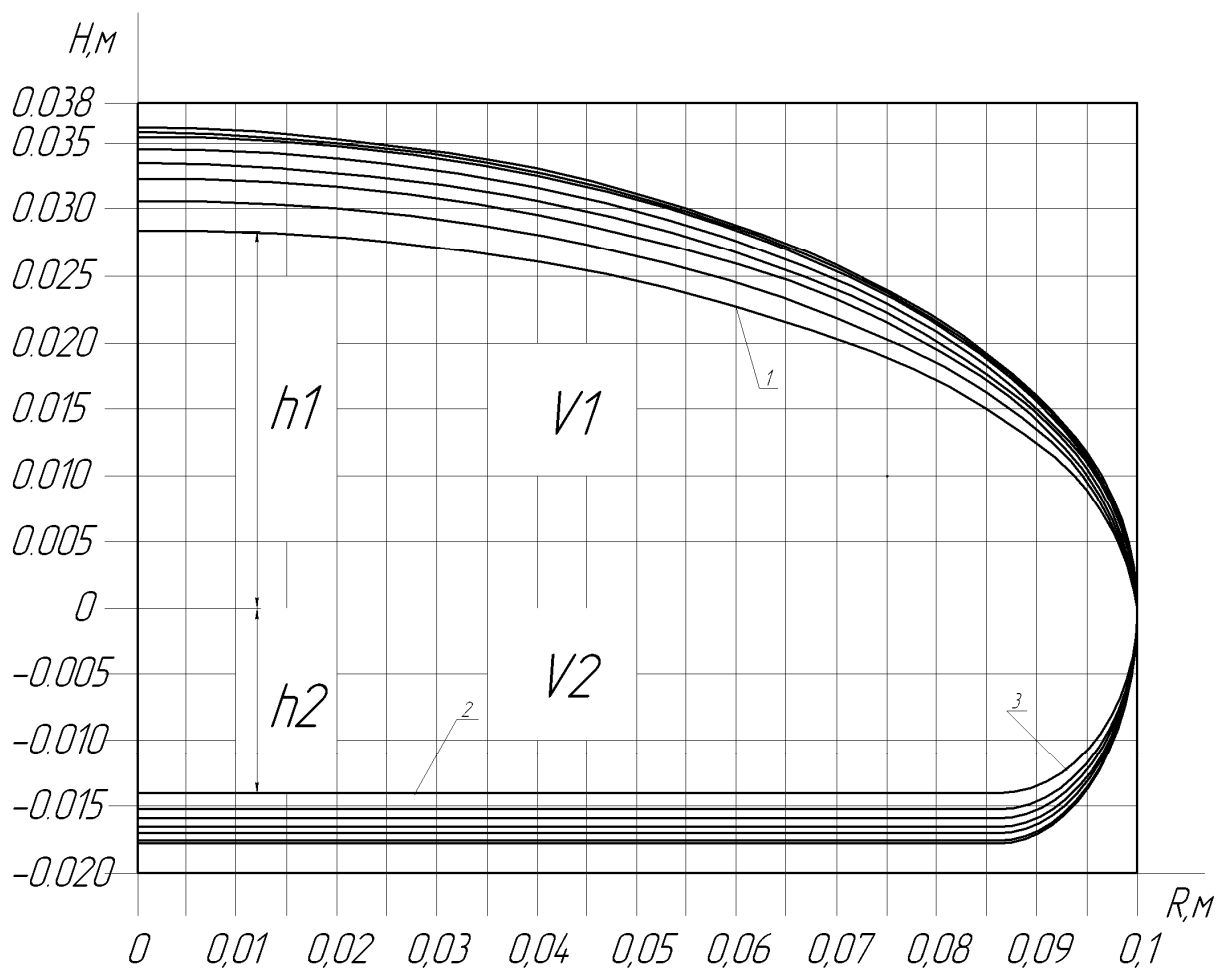


Рис.3 Залежність зміни висоти тістової заготовки по радіусу при випіканні для експериментальної заготовки масою 450 гр.

Побудована на основі фізичних уявлень модель повинна вірно, якісно й кількісно описувати процес, який моделюється, тобто вона повинна бути адекватна такому процесу.

Для перевірки адекватності математичної моделі реальному процесу порівнюємо результати вимірів на об'єкті в ході процесу з результатами передбачення моделі в ідентичних умовах.

Відносну похибку математичної моделі розраховуємо за наступною формулою:

$$\delta = \frac{V_{\text{Л}}}{V_P}$$

де $V_{\text{Л}}$ – об'єм паляниці білого подового хліба за формулою [3].

$$V_{\text{Л}} = 0,513 \cdot d^2 \cdot h \cdot k$$

V_P – розрахунковий об'єм паляниці;

$k = 1,09$ – поправочний коефіцієнт;

d – діаметр тістової заготовки, м;

h – висота тістової заготовки, м.

Проведені розрахунки показали, що величина похибки не перевищує 5%.

Висновки: Розроблена математична модель кінетики зміни об'єму тістової заготовки при випіканні як складова частина загальної аналітичної моделі процесу тепломасопереносу при випіканні.

Література:

1. Теличкун В.И. Исследование процесса выпечки хлеба при переменных режимах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев: КТИПП, 1967, - 17с.

2. Бережницкая Ю.С., Теличкун В.И. и др. Изменение объема тестовой заготовки в процессе расстойки и выпечки/ Ред. сборн. «Соврем аспекты индуст. общест. питания»,-1990.
3. Лисовенко А.Т. Режим выпечки и тепловые режимы в современных хлебопекарных печах. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 214с.