

## ТЕПЛОПОГЛОЩЕНИЕ ТЕСТОВОЙ ЗАГОТОВКОЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПЕЧКИ В КОНВЕКТИВНЫХ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧАХ

Ю.Ю. Доломакин, А.В. Ковалёв, А.А. Глуздань, В.М. Федоров

***Аннотация.** Рассмотрена проблема выпечки хлебобулочных изделий в конвективных печах. Проведены эксперименты с выпеканием хлебобулочных изделий в печи. Обработаны экспериментальные данные, показавшие неравномерность теплопоглощения верхней поверхностью тестовой заготовкой. Предложены формулы для расчета величины теплового потока при расчетах печей с рециркуляцией среды в пекарной камере.*

***Ключевые слова:** выпечка, печь, теплопоглощение, интенсивность теплового потока.*

**Введение.** При выпечке в конвективных печах, на изменение величины теплового потока, воспринимаемого выпекающимся тестом-хлебом по ходу конвейера, влияют: зона увлажнения; поперечные балки, поддерживающие верхнюю греющую поверхность; радиаторные коробки; естественная вентиляция рабочей камеры через загрузочное и разгрузочное устья печи. В результате кривая изменения интенсивности теплового потока получается ломаной, сохраняя при этом общий характер закономерности – резкий подъем вначале с постепенным понижением в конце выпечки.

При выпечке в печи со стационарным подом перечисленные причины отсутствуют или же их влияние незначительно, поэтому кривая теплопоглощения будет более плавной, неломаной.

**Методы исследований.** Элементы теории лучевой теплопередачи и теории огибающих параметрических семейств функций, а также теории аппроксимации кривых при использовании компьютерной графики в среде Excel. Применяются положения прикладной геометрии и численных методов.

**Результаты и обсуждение.** Теплопоглощение верхней поверхностью тестовой заготовки для булочки «Днепровская» массой 0,06 кг при выпечке в конвективной печи наведено на рис.1. При этом средняя температура пекарной камеры  $t_{п.к.} = 200$  °С и скорость воздушного потока  $v = 5$  м/с.

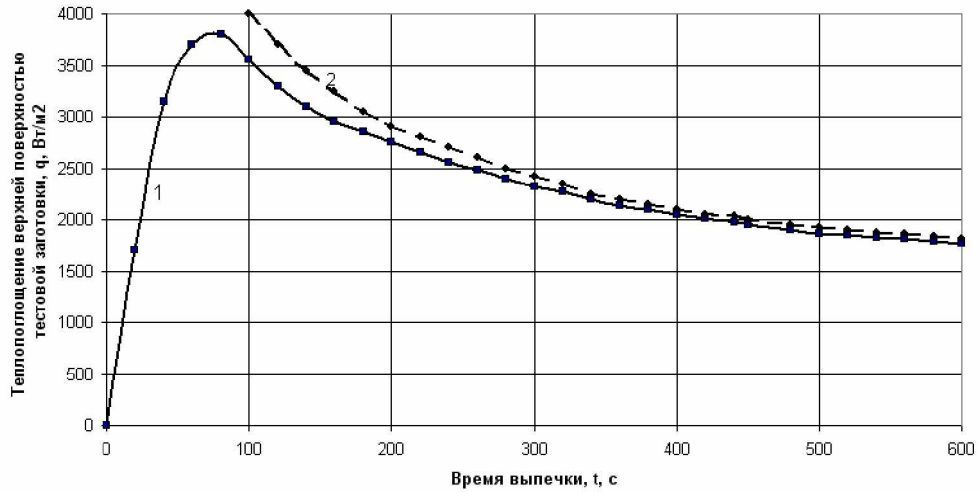
При обработке экспериментальных данных оказалось, что теплопоглощение тестовой заготовкой аппроксимируется степенной зависимостью

$$y = C X^n \quad (1)$$

или, в нашем случае:

$$q_1 = C t^n \quad (2)$$

где  $q_1$  – количество тепла, передаваемого верхней поверхности тестовой заготовки конвекцией и излучением, Вт/м<sup>2</sup>;  $t$  – продолжительность выпечки, с;  $C$ ,  $n$  – коэффициенты, величину которых требуется определить.



**Рис. 1. График теплопоглощения верхней поверхностью тестовой заготовки булочки «Днепровская»: 1 – изменение теплового потока на поверхности верхней корки по экспериментальным данным, Вт/м<sup>2</sup>; 2 – теоретическая величина теплового потока на поверхности верхней корки, Вт/м<sup>2</sup>.**

Из рис. 1 видно, что теплопоглощение в ходе выпечки имеет различный характер в I и II периодах процесса выпечки, вид аналитической зависимости (1) при этом сохраняется.

Графическим методом определяем величину коэффициента для I и II периодов процесса выпечки:

$$n_I = 0,10; n_{II} = -0,45.$$

Коэффициент C (соответственно для I и II периодов равный 2480 и 30200) определен методом средних значений, после логарифмирования уравнения (2):

$$\text{Lg } q_1 = \text{Lg } C + n \text{ Lg } t \tag{3}$$

Подставив значения коэффициентов  $n_I$ ,  $n_{II}$ ,  $C_I$ ,  $C_{II}$  в уравнение (3), получим окончательный вид аналитической зависимости для поглощения тепла верхней поверхностью тестовой заготовки:

в I периоде

$$q_1^I = 2480^{0,10}, \text{ Вт/м}^2; \tag{4}$$

во II периоде

$$q_1^{II} = 30200^{-0,45}, \text{ Вт/м}^2. \tag{5}$$

Суммарное количество теплоты, поглощенной верхней поверхностью тестовой заготовки булочки «Днепровская» при рециркуляции среды рабочей камеры, получим, проинтегрировав зависимость (2):

$$\int_a^b C t^n dt = C \frac{t^{n+1}}{n+1} \Big|_a^b \tag{6}$$

Из рисунка видно, что I период выпечки длится до  $t = 90$  с, тогда:

—Процеси та обладнання харчових виробництв—

(7)

$$q_1^I \int_{t=0}^{t=90} dt = 248 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{0,1+1}}{0,1+1} dt$$

II период – до 600 с, следовательно,

(8)

$$q_1^2 \int_{t=90}^{t=600} dt = 30200 \int_{t=90}^{t=600} \frac{t^{-0,45+1}}{-0,45+1} dt$$

Средняя величина теплового потока равна:

$$q_{1cp} = \frac{\sum q_1^I + \sum q_1^2}{\sum t}; \quad q_{1cp} = 2423 \text{ Вт/м}^2,$$

что практически совпадает с расчетом по экспериментальным данным, отклонение величины теплового потока -  $q_{1cp}$ , рассчитанного по выведенному уравнению, от экспериментальных данных не превышает 2,6 %.

В начале выпечки теплопоглощение тестовой заготовкой замедленное. Если предположить, что теплопоглощение на протяжении всего времени аппроксимируется уравнением (5) – см. пунктирную кривую на рисунке, – то фактическое уменьшение поглощения теплоты составит:

$$\Delta q_I = \frac{30200 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{0,55}}{0,55} dt - 2480 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{1,1}}{1,1} dt}{30200 \int_{t=0}^{t=600} \frac{t^{0,55}}{0,55} dt} \cdot 100\%; \quad \Delta q_I = 19,3 \%$$

Из приведенных расчетов видно, что при рециркуляции среды пекарной камеры тестовая заготовка должна получить тепло в соответствии с уравнением (4) и (5), но примерно 19 % теплоты тестовая заготовка недополучает из-за интенсивного испарения влаги с ее поверхности в начале выпечки.

Выведем уравнение теплопоглощения верхней поверхностью тестовой заготовки применительно к безразмерному относительному времени. Безразмерное время равно:

$$\Theta = \frac{t}{\sum t} \quad (9)$$

где  $t$  – относительная продолжительность выпечки в данный момент времени;  $\sum t$  – общая продолжительность выпечки изделия. По аналогии с уравнениями (4) и (5) получаем уравнение теплопоглощения верхней поверхностью тестовой заготовки при рециркуляции среды рабочей камеры:

для I периода

$$q_1^I = 4700 t^{0,10}, \text{ Вт/м}^2; \quad (10)$$

для II периода

$$q_1^2 = 1700 t^{-0,45}, \text{ Вт/м}^2. \quad (11)$$

Формулы (10) и (11) можно рекомендовать для практического применения при расчетах печей с рециркуляцией среды в пекарной камере.

### Литература.

1. Аношина О. Влияние силы муки и продолжительности выпечки на качество

хлеба Текст./ О. Аношина, Л. Пучкова, Ю. Метелкина // Хлебопродукты. 2008. - №2. - с. 58-59.

2. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.

3. Ковалев А. В. Теплообмен в рабочей камере хлебопекарной печи Текст./ А.В. Ковалев // Хлебопечение России. 2002. - №1.

4. Теплотехнические аспекты эффективной выпечки ржано-пшеничного формового хлеба./ В.А. Брызун, А.А. Бочарников, В.И. Маклюков, М.Ф. Аднодворцев, А. Л. Назолин М.: Пищепромиздат, 2005.- 132 с.

5. Megumi Miyazaki, Naofumi Morita. Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. Food Research International, Volume 38, Issue 4, May 2005, Pages 369-376.

*Авторська довідка.*

**Доломакін Юрій Юрійович**, асистент, кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій.

**Ковальов Олександр Володимирович**, к.т.н., доцент, кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій, e-mail: [rait2006@ukr.net](mailto:rait2006@ukr.net)

**Глуздань Андрій Олексійович**, к.т.н., доцент, кафедра теплотехніки, Національний університет харчових технологій.

**Федорів Віктор Михайлович**, к.т.н., доцент, Кам'янець-Подільський коледж харчової промисловості.