

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОПОГЛОЩЕНИЯ В ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧАХ С КОНВЕКТИВНЫМ ОБОГРЕВОМ

Ковальов А.В., канд. техн. наук, доцент, Мыколив И.М., канд. техн. наук, доцент
Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

Выпечка булочных и кондитерских изделий в печах с конвективным обогревом осуществляется путем интенсивного конвективного теплообмена между изделиями и средой пекарной камеры. Для получения качественных мелкоштучных хлебобулочных изделий при выпечке в таких печах важным является исследование параметров теплопоглощения тестовыми заготовками. Аналитическим путем определено теплопоглощение верхней поверхностью тестовых заготовок на различных этапах выпекания.

Baking of loaf and pastry wares in stoves with the convection heating is carried out by intensive convection heat exchange between wares and environment of baking chamber. For receipt of high-quality shallow bakegoods at baking in such stoves important is research of parameters of warm absorption from the test purveyances. In analytical way it is define a warm absorption from topside of the test purveyances on the different stages of baking.

Ключевые слова: хлебопекарная печь, конвективный обогрев, теплопоглощение, пекарная камера, тестовая заготовка.

Хлебопекарные печи с конвективным обогревом широко используются при выпечке мелкоштучных булочных и кондитерских изделий. Преимуществом их использования является экономичность в эксплуатации, что позволяет осуществлять разогрев печи за 20...30 мин, сокращать время выпечки на 10...15 мин, эффективно использовать производственные площади.

Особенностью работы этих печей является выпечка изделий путем интенсивного конвективного теплообмена между изделиями и средой пекарной камеры. При использовании конвективных печей возможно повышенное упекание хлебобулочных изделий. Хлебопекарные печи с конвективным обогревом состоят из пекарной камеры, калорифера, системы циркуляции среды пекарной камеры, включая вентилятор и генератор теплоты. Нагрев изделий после загрузки печи осуществляется нагретым воздухом пекарной камеры, который постоянно циркулирует в замкнутом контуре калорифер-пекарная камера.

Для определения температурных режимов работы печей при выпечке мелкоштучных хлебобулочных изделий актуальным является исследование процесса теплопоглощения тестовых заготовок.

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.

В работе исследовали параметры теплопоглощения тестовыми заготовками для мелкоштучных булочных изделий с пшеничной муки. Теплопоглощение верхней поверхностью тестовой заготовки булочки Днепровская массой 0,06 кг при выпечке в конвективной печи наведено на рисунке. 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:

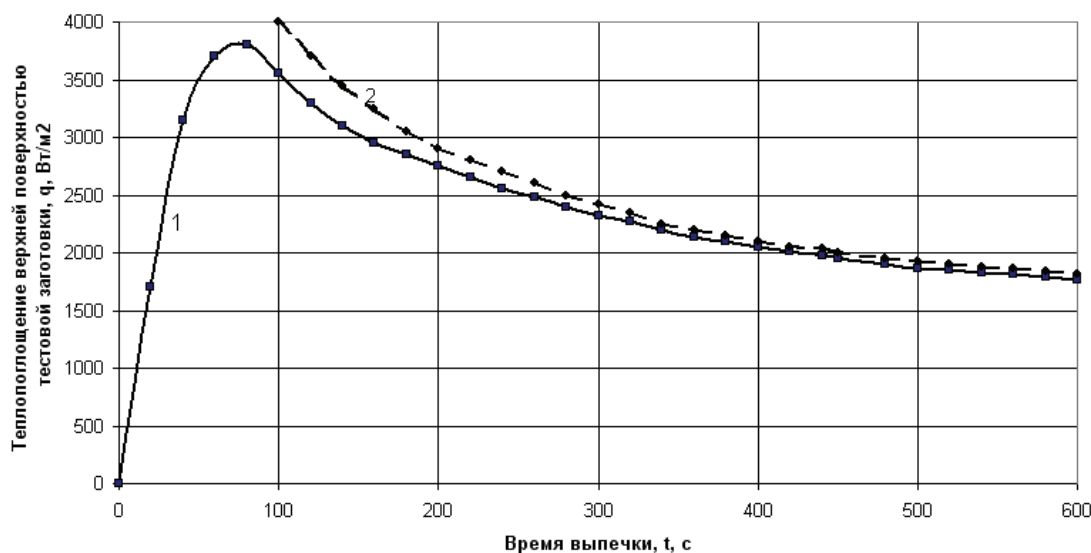
$$y = CX^n \quad (1)$$

или, в нашем случае,

$$q_1 = Ct^n \quad (2)$$

где q_1 – количество тепла, передаваемого верхней поверхности тестовой заготовки конвекцией и излучением, Вт/м²; t – продолжительность выпечки, с; C , n – коэффициенты, величину которых требуется определить.

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



1 – изменение теплового потока на поверхности верхней корки по экспериментальным данным, Вт/м² ;
 2 – теоретическая величина теплового потока на поверхности верхней корки, Вт/м².

Рис. 1 – График теплопоглощения верхней поверхностью тестовой заготовки булочки Днепровская

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)

$$\text{Lg}q_1 = \text{lg}C + n \text{ lgt} \quad (3)$$

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:

$$\text{в I периоде } q_1^1 = 2480^{0,10} \text{ Вт/м}^2; \quad (4)$$

$$\text{во II периоде } q_1^2 = 30200^{0,10} \text{ Вт/м}^2. \quad (5)$$

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

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

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

$$q_1^1 \int_{t=0}^{t=90} dt = 248 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{0,1+1}}{0,1+1} |dt \quad (7)$$

II период – до 600 с, следовательно,

$$q_1^2 \int_{t=90}^{t=600} dt = 30200 \int_{t=90}^{t=600} \frac{t^{-0,45+1}}{-0,45+1} |dt \quad (8)$$

Средняя величина теплового потока равна

$$q_{I,cp} = \frac{\sum q_1^1 + \sum q_1^2}{\sum t};$$

$$q_{I,cp} = 2423 \text{ Вт/м}^2$$

что практически совпадает с расчетом по экспериментальным данным, отклонение величины теплового потока $-q_{1, \text{cp}}$, 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) – согласно с пунктирной кривой на рисунке, то фактическое уменьшение поглощения теплоты составит:

$$\Delta q_1 = \frac{30200 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{0,55}}{0,55} dt - 2480 \int_{t=0}^{t=90} \frac{t^{1,1}}{1,1} dt}{30200 \int_{t=0}^{t=600} \frac{t^{0,55}}{0,55} dt} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta q_1 = 19,3\% .$$

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:

$$\Theta = t / \Sigma t \quad (9)$$

где t – относительная продолжительность выпечки в данный момент времени; Σt – 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

$$q_1^1 = 4700 t^{0,10} , \text{ Вт/м}^2; \quad (10)$$

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.

Выводы. Определение параметров теплопоглощения тестовыми заготовками для мелкоштучных хлебобулочных изделий производили на примере булочки Днепровская массой 0,06 кг.

Анализ экспериментальных данных исследования свидетельствует, что теплопоглощение тестовой заготовкой в процессе выпечки в хлебопекарных печах с конвективным обогревом аппроксимируется степенной зависимостью.

Предложено аналитическое решение уравнения теплопоглощения верхней поверхностью тестовых заготовок при рециркуляции среды рабочей камеры на различных этапах выпечки мелкоштучных хлебобулочных изделий. Определено, что в начальном этапе выпечки из-за рециркуляции среды пекарной камеры происходят потери теплопоглощения из-за интенсивного испарения влаги с верхней поверхности тестовой заготовки.

Литература

1. Аношин И.М. Теоретические основы массообменных процессов пищевых производств / И.М. Аношин – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 344 с.
2. Гинзбург А.С. Теплофизические основы процесса выпечки / А.С. Гинзбург – М.: Пищепромиздат, 1955. – 476 с.
3. Калинин Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
4. Лисовенко А.Т. Процесс выпечки и тепловые режимы в современных хлебопекарных печах / А.Т. Лисовенко – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 215 с.
5. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А. Михелев, Н.М. Ицкович, М.Н. Сигал, А.В. Володарский. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 327 с.
6. Федоров В.Г. Основы тепломассометрии / В.Г. Федоров– К.: Вища школа, 1987. – 184 с.
7. Цыганова Т.Б. Технология хлебопекарного производства / Т.Б. Цыганова – М.: ПрофОбрИздат, 2002. – 428с.