

664.655.1:664.681.1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛОЙНЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ПРИ ВЫПЕЧКЕ БИСКВИТНОГО ПОЛУФАБРИКАТА**

А. Н. ДОРОХОВИЧ, В. А. ТАРАПОН, Е. Г. БОНДАРЕНКО, Ф. В. МУРСАКУЛОВА

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт
пищевой промышленности

При выпечке бисквитного теста происходят необратимые физико-химические процессы, изменяющие его структуру и свойства. Для вскрытия механизма внутреннего теплопереноса и выбора оптимального режима выпечки необходимо знание теплофизических характеристик и изменения их в процессе выпечки. Цель нашей работы — совместное использование методов физического и математического моделирования (метод электротепловой аналогии), которые позволили бы простыми средствами и с достаточной точностью получить богатую информацию о кинетике эффективных теплофизических характеристик.

При анализе сложных процессов внутреннего теплопереноса при выпечке бисквитного полуфабриката важную роль играет анализ послойного изменения эффективных коэффициентов теплопроводности. Для характеристики суммарного переноса тепла теплопроводностью, конвекцией и излучением вводится понятие эффективного коэффициента теплопроводности пористого тела [1]

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_k + \lambda_{\text{из}}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент молекулярной теплопроводности, Вт/(м·К);

λ_{κ} — коэффициент конвективной теплопроводности, Вт/(м·К);
 λ_{λ} — коэффициент лучистой теплопроводности, Вт/(м·К).

Физическое моделирование процессов тепломассообмена при выпечке бисквитного полуфабриката проводилось на экспериментальной установке, позволяющей осуществить одновременно автоматическую запись послойных изменений температуры t и убыли массы Δg [2].

Для исследования температурного поля перед выпечкой в тесто на различной глубине закладывали 12 медь-константановых термопар диаметром 0,15 мм, причем так, чтобы при подъеме теста они могли перемещаться и фиксировать t одного и того же слоя теста-изделия.

Экспериментальные данные обрабатывали в виде кривых распределения t по сечению образца через определенные промежутки времени τ с учетом роста заготовки при выпечке (рис. 1). Убыль массы Δg в процессе выпечки регистрировали с помощью фотовесов [3].

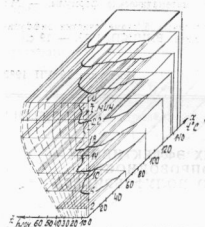


Рис. 1. Послойное температурное поле 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 соответственно на 2-й, 6-й, 10-й, 14-й, 18-й, 22-й и 26-й минутах выпечки

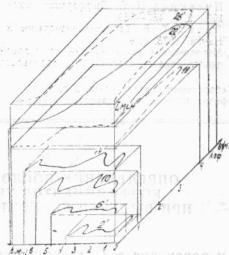


Рис. 2. Послойное изменение Δg 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответственно на 2-й, 6-й, 10-й, 14-й, 18-й, 22-й и 26-й минутах выпечки

Распределение влаги по толщине теста было принято равномерным, изменение плотности при выпечке пропорционально изменению высоты [2].

На электрической модели исследовали следующую математическую модель процесса выпечки бисквитного полуфабриката:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\kappa\phi} \frac{\partial t}{\partial x} - c \rho(T, \tau) \right) \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0. \quad (2)$$

Сущность метода заключается в замене температурного поля полем электрического потенциала, так как движение тока и теплового потока описывается одним и тем же дифференциальным уравнением. В связи с этим аналогом удельной теплоемкости является омическое сопротивление.

Величины послойных $\lambda_{\kappa\phi}$ определяли с помощью модели с измерительным и питающим устройством электроинтегратора ЭИНП-3/66, используя при этом методику [4]. При определении $\lambda_{\kappa\phi}$ учитывалась

$$C = f(t, \tau); \quad \rho = f(t, \tau),$$

где C — удельная теплоемкость бисквитного теста, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$;
 ρ — плотность слоя бисквитного теста, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Результаты исследований $\lambda_{\text{эф}}$ при выпечке бисквитного полуфабриката показаны на рис. 2.

Зависимость $\lambda_{\text{эф}} = f(t, h)$ носит сложный характер, что можно объяснить явлением термовлагопроводности, сложными процессами миграции влаги и специфической высокоразвитой пористой структурой бисквитного полуфабриката, физико-химическими и коллоидными процессами, происходящими при выпечке.

Резкое увеличение $\lambda_{\text{эф}}$ в первые минуты выпечки в поверхностных слоях объясняется явлением термодиффузии. Влага под действием температурного градиента перемещается в глубь лежащих слоев и переносит определенное количество тепла. При дальнейшем прогреве ($t=5$ мин) снижение $\lambda_{\text{эф}}$ можно объяснить расширением воздуха в порах бисквита.

Величина $\lambda_{\text{эф}}$ от 18-й до 26-й минуты повышается приблизительно в 15 раз. Этот факт связан не столько с повышением t образца, сколько со значительным влиянием структуры тела, с процессами, происходящими при выпечке бисквита.

Увеличение $\lambda_{\text{эф}}$ на 10-й — 14-й минутах на глубине 22—23 мм от нижней поверхности, очевидно, можно объяснить началом денатурации белков, сопровождающейся выделением связанной влаги.

На 18-й минуте выпечки $\lambda_{\text{эф}}$ во внутренних слоях имеет небольшое значение, так как в это время происходит клейстеризация крахмала, сопровождающаяся эндотермическим эффектом. На 22-й — 26-й минутах завершаются эндотермические процессы (клейстеризация крахмала, рост заготовки) и $\lambda_{\text{эф}}$ увеличивается с повышением t образца. В конце выпечки, к 26-й минуте t образца почти по всей толщине достигает 96—98°C, следовательно, влага находится в парообразном состоянии и ее миграция приводит к выравниванию и увеличению $\lambda_{\text{эф}}$.

Значение $\lambda_{\text{эф}}$ в верхней и нижней корках с уменьшением влагосодержания и изменением структуры снижается, достигая в конце выпечки в нижней корке значения 0,5—0,6 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, а в верхней 0,02—0,03 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Полученные эффективные коэффициенты теплопроводности непосредственно при выпечке бисквитного полуфабриката будут использованы при выборе оптимального режима выпечки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиязбург А. С. Теплофизические основы процесса выпечки. — М.: Пищепромиздат, 1955. — 474 с.
2. Бондаренко Е. Г. Исследование кинетики процесса выпечки бисквитного полуфабриката. — Киев: КТИП, 1979. — 24 с.
3. Лисовенко А. Т., Михелев А. А. Автоматическая установка для одновременной регистрации температур и веса. — Инж.-физ. ж., 1961, № 9, с. 98—101.
4. Душенко В. П., Буляндра А. Ф., Таралон В. А. и др. Використання методу електроаналогії для дослідження кінетики коефіцієнтів теплопровідності тіста-хліба в процесі випікання. — Харчова промисловість, 1972, № 15, с. 3—7.

Кафедра технологии хлебопекарного,
 кондитерского и консервного производства
 Кафедра физики

Поступила 20 X 1981