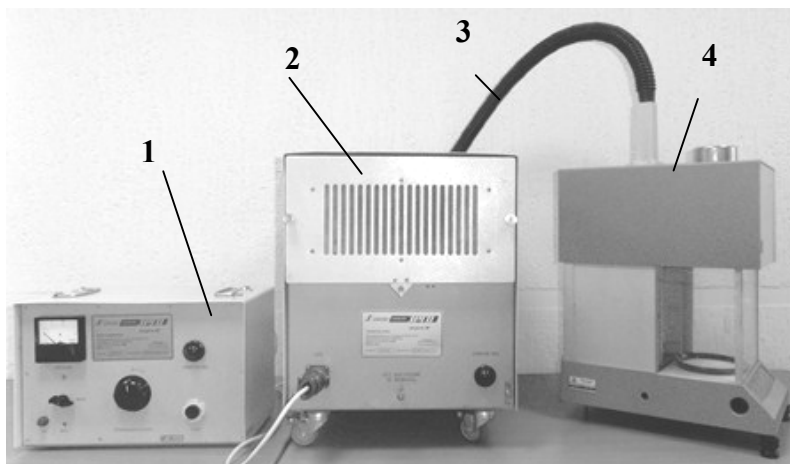


Основное назначение блока управления заключается в задании и обеспечении стабильных режимов получения озона и по необходимости управлении процессом получения озона, непосредственно происходящем в основном рабочем блоке 2. Гофрированный шланг 3 обеспечивает подачу озона непосредственно в бокс для озонирования 4.

Характерной особенностью бокса для озонирования 4 являются его широкие технологические возможности. Так, непосредственно в самом боксе установлен датчик для измерения концентрации озона.



1 – блок управления; 2 – основной блок; 3 – шланг соединительный;
4 – бокс для озонирования

Рисунок 1 – Внешний вид исследовательского комплекса для озонирования пищевых материалов

Это позволяет контролировать процесс обработки и обеспечивать его стабильность. Кроме того, в нижней части бокса размещены нагреватель и увлажнитель, что позволяет в процессе обработки оценивать влияние температурного фактора и влажности среды на свойства обрабатываемых пищевых материалов. Представляется перспективным использовать планирование эксперимента для получения математической модели, описывающей влияние исследовательских факторов на эффективность обработки материалов озоном. При этом изучаемыми факторами могут быть: концентрация озона (X_1), продолжительность обработки (X_2), температура (X_3) и влажность (X_4) среды.

Список литературы

1. Троцкая, Т. П. Применение озона в пищевой промышленности и сельском хозяйстве [Текст] / Т. П. Троцкая, З. В. Ловкис, А. А. Литвинчук и др. – Мн.: Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по продовольствию, 2007. – 36 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ТЕСТОВЫХ ЗАГОТОВОК В ПАРОКОНВЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

И. М. Кирик, А. В. Кирик

*УО «Могилевский государственный университет продовольствия»,
г. Могилев, Республика Беларусь*

Сложность и многофакторность процесса выпечки тестовых заготовок делает затруднительным достаточно точное теоретическое описание изменения температурного поля в те-

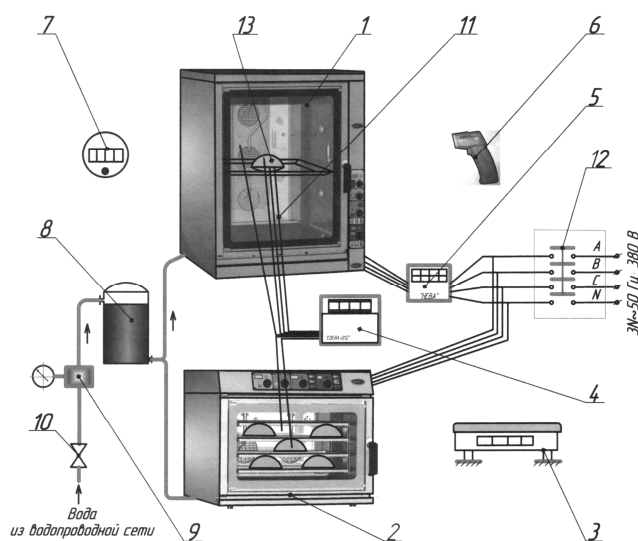
ле заготовки во времени. В большинстве случаев тепловой расчет хлебопекарных печей и других технических устройств для выпечки хлебобулочных изделий выполняется на основе опытных температурных кривых процесса.

Аналитический подход к оценке времени выпечки по времени достижения заданной температуры на основе теории нестационарной теплопроводности изложен в литературе [1] и [2]. Представленные в них соотношения теоретически верно отражают влияние факторов, которые определяют время выпечки изделия. Но они имеют неизвестные коэффициенты, в том числе зависящие от числа Био, четких рекомендаций по нахождению которого нет. Поэтому для инженерных расчетов они практически непригодны. Результаты исследования температурного поля выпекаемой тестовой заготовки (далее ВТЗ) представлены в литературе [3] и [4]. В общем случае аналитическое определение температурного поля ВТЗ связано с необходимостью решения системы дифференциальных уравнений Лыкова-Михайлова [5]. Решение этой системы дифференциальных уравнений получить пока не удастся.

В настоящей работе сделана попытка получить аналитическое описание изменения температуры в центре ВТЗ на основе обработки экспериментальных измерений с использованием теории подобия.

Выпечка изделий из теста в пароконвекционном аппарате представляет собой нестационарный тепловой процесс, включающий теплопроводность, перенос влаги с изменением ее агрегатного состояния и различные физические, биохимические, микробиологические, коллоидные и другие процессы. Базовым процессом здесь следует считать нестационарную теплопроводность в теле ВТЗ, поскольку изменение температурного поля вызывает или изменяет все остальные процессы.

Для проведения экспериментальных исследований по изучению процесса теплопроводности в теле ВТЗ создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1.



1 – пароконвектомат; 2 – шкаф расстоечный; 3 – весы; 4 – измеритель-регулятор «Сосна-012»; 5 – счетчик трехфазный; 6 – пирометр; 7 – счетчик-секундомер; 8 – колонка ионообменная; 9 – клапан редукционный; 10 – кран; 11 – термопары ТХА; 12 – пускатель магнитный; 13 – ВТЗ

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Измеренные значения температуры на поверхности ВТЗ и в ее центре показали классический в качественном плане характер изменения температуры во времени. Температура на поверхности ВТЗ (или температура корки) сразу быстро возрастает, со временем скорость возрастания ее температуры уменьшается, и температура приближается к температуре греющей среды. В центре изделия на первоначальной стадии температура остается неизменной, пока идет процесс прогрева заготовки. Через некоторое время температура в центре ВТЗ

начинает расти сначала быстро, а затем все медленнее, также приближаясь к некоторой предельной температуре.

В теории нестационарной теплопроводности изменение температуры во времени в каждой точке тела при его нагревании и охлаждении определяется бесконечным рядом:

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (1)$$

где θ – безразмерная температура.

$$\theta = \frac{t_{z.c.} - t}{t_{z.c.} - t_o}, \quad (2)$$

где $t_{z.c.}$ – температура греющей среды, °C; t – температура ВТЗ в момент времени τ , °C; t_o – начальная температура ВТЗ, °C; Fo – число Фурье.

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}, \quad (3)$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с; τ – время, с; l – характерный геометрический размер тела, м; D_n – функция, зависящая от граничных условий, координат, формы тела; μ_n – корни характеристического уравнения, получаемого при решении задачи.

Для фиксированной точки (например, в центре изделия) величины D_n и μ_n зависят только от числа Био, которое характеризует условия нагревания (охлаждения) поверхности тела

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от греющей среды к изделию, Вт/м²·К; λ – коэффициент теплопроводности тела, Вт/м·К.

Для тел правильной формы с одномерным полем температур (бесконечная плоская пластина, бесконечный цилиндр, шар) величины D_n и μ_n для центра тела и для его поверхности табулированы и приводятся в справочной литературе.

На первом этапе выпечки, называемом неупорядоченным режимом, наблюдается сложный характер изменения температуры в теле ВТЗ, различный в разных точках, и для определения температуры требуется много членов ряда (1). Со временем с ростом числа Фурье ряд (1) сходится все быстрее, и для определения значений температуры требуется все меньшее число членов ряда. После определенных значений числа Фурье ряд сходится настолько быстро, что для математического описания процесса достаточно первого члена ряда

$$\theta = D_1 \cdot e^{-\mu_1^2 \cdot Fo}. \quad (5)$$

Этот режим называют регулярным режимом. Изменение температуры при этом во всех точках тела имеет аналогичный характер. Для бесконечного цилиндра и шара такой режим наступает при $Fo \geq 0,25$ (при определяющем размере, равном радиусу цилиндра или шара, т.е. при $l = r$, где r – радиус, м).

Аппроксимация экспериментальных измерений уравнением (5) открывает большие возможности для обобщения опытных данных, прогнозирования изменения температуры во времени в процессе выпечки тестовых заготовок, получения расчетных уравнений. Коэффициенты D_1 и μ_1 получаются в этом случае эмпирически.

При нагревании твердых однородных тел обе температуры, как и температуры в любой точке, со временем сближаются, стремясь к температуре греющей среды. Однако известно, что при выпечке изделий из теста имеет место существенное различие – температура внутри ВТЗ стремится не к температуре греющей среды, а к другой, более низкой температуре, обычно не превышающей 100 °C. Изделие из теста в качестве одного из основных компонентов содержит воду в жидком состоянии, и количество влаги, испарившейся за время выпечки, значительно меньше ее количества, остающейся в изделии. Следовательно, на протяжении всего процесса выпечки изделие прогревается до температуры, стремящейся к 100 °C,

оставаясь влажным телом. При атмосферном давлении температура $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – это температура насыщения водяного пара, и вода в жидком состоянии не может иметь температуру выше этого значения. При температуре на поверхности изделия выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется корка, в которой влага находится в парообразном состоянии. Под коркой имеется поверхность, разделяющая жидкое состояние влаги от парообразного. При подводе теплоты извне происходит испарение влаги из изделия, из-за чего поверхность испарения будет медленно перемещаться внутрь, а толщина корки увеличиваться. На этой поверхности испарения температура всегда будет постоянной, равной температуре насыщенного пара.

Все это приводит к предложению при рассмотрении нестационарного процесса теплопроводности в изделии из теста нагреваемым телом считать только влажное изделие, включающее воду в жидком состоянии, а корку отнести к окружающей среде. Через корку к нагреваемому изделию передается теплота от греющей среды. Таким образом, на внешней границе влажного теста (на границе влажной заготовки с сухой коркой) соблюдается условие $t_{z.c.} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. По теории нестационарной теплопроводности это граничное условие аналогично условию $Bi \rightarrow \infty$. Поэтому для температурного поля внутри тестовой заготовки в качестве температуры окружающей среды (или предельной температуры) целесообразно принимать температуру насыщения пара при атмосферном давлении. Тогда безразмерная температура будет определяться из выражения

$$\theta = \frac{100 - t}{100 - t_o}. \quad (6)$$

Уравнение (5) является уравнением подобия (критериальным уравнением), которое обобщает экспериментальные результаты, полученные для изделий одной формы. Форма исследуемых ВТЗ представляет шаровой сегмент с диаметром D и высотой h . Высота при этом была в 5 – 6 раз меньше диаметра. Следовательно, изделие по форме ближе к пластине ограниченных размеров. Поэтому в качестве определяющего размера при определении числа Фурье нами была принята половина начальной высоты h_n ВТЗ после расстойки перед помещением ее в рабочую камеру, т.е. $h_n/2$.

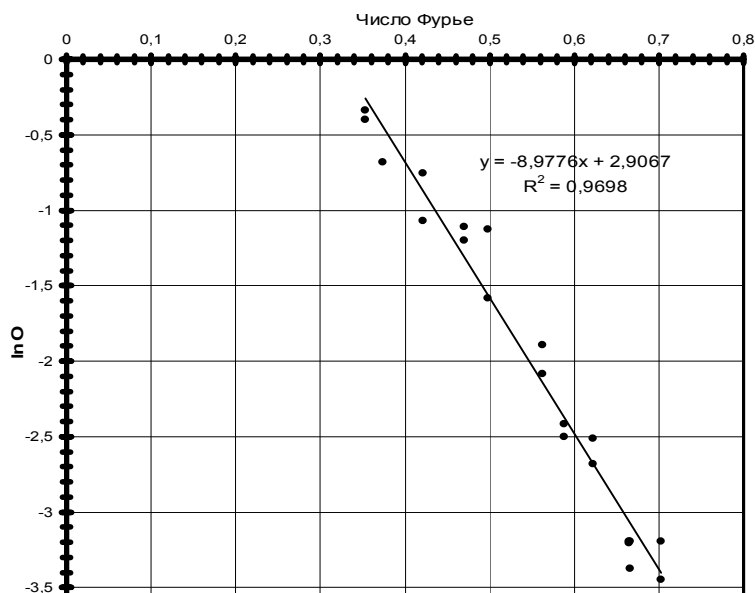


Рисунок 1 – Результаты аппроксимации экспериментальных данных

Таким образом, нами было получено уравнение, описывающее процесс прогрева изделия на его второй стадии

$$\theta = 18,3 \cdot e^{-8,98F_o}. \quad (7)$$

Данное уравнение получено для изделий из сдобного теста массой 200...400 г с соотношением диаметра к начальной высоте $D/h_n \approx 5:1$ и справедливо при $Fo \geq 0,35$. Оно рекомен-

дуются для инженерных расчетов при определении температуры в центре изделий по истечении определенного времени или при определении необходимого времени до достижения заданной температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки.

Список литературы

1. Гинзбург, А.С. Теплофизические основы процесса выпечки [Текст] / А.С. Гинзбург. – М.: Пищепромиздат, 1955. – 475 с.
2. Михелев, А.А. Расчет и проектирование хлебопекарных печей [Текст] / А.А. Михелев, Н.М. Ицкович. – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 568 с.
3. Фогель, В.О. Аналитическое исследование влияния теплового режима на начальную фазу выпечки хлеба [Текст] / В.О. Фогель // Труды ВНИИХП. – М.: Пищепромиздат, 1953. – С.199-208.
4. Смирнов, М.С. Применение сопряженных задач теплопроводности с подвижной границей к анализу процесса выпечки [Текст] / М.С. Смирнов // Реферативный сборник. Серия: Хлебопекарная, макаронная и дрожжевая промышленность. – М.: ЦИНТИпищепром, 1969. – Вып.21. – С.15-22.
5. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса [Текст] / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЯСНОГО ФАРША В БЫТОВОМ АППАРАТЕ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА

С. И. Василевская, И. М. Кирик

*УО «Могилевский государственный университет продовольствия»,
г. Могилев, Республика Беларусь*

Нагрев инфракрасным излучением является перспективным методом физической обработки пищевых продуктов, экологически безопасным и энергосберегающим, позволяющим обеспечить интенсификацию и углубленную обработку исходного сырья. Поэтому он находит все большее применение в различных отраслях пищевой промышленности.

Одним из основных факторов, обуславливающих применение инфракрасных (ИК) лучей для термообработки, является способность их проникать в обрабатываемые изделия на определенную глубину, воздействовать на молекулярную структуру, в связи с чем быстро возрастает температура не только на поверхности, но и внутри изделий. Этот метод значительно снижает влияние теплопроводности нагреваемых тел, что обуславливает интенсификацию процесса по сравнению с традиционными способами тепловой обработки продуктов. Наряду с этим применение инфракрасного излучения значительно сокращает продолжительность процесса термообработки изделий и снижает удельные расходы энергии.

Для проведения исследований по изучению процесса тепловой обработки изделий из мясного фарша в потоке инфракрасного излучения создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1.

Разработанный и исследуемый опытный образец представляет собой емкость из нержавеющей стали емкостью 3 дм³, в крышку которой встроены галогеновые кварцевые излучатели, отражающий теплоизолирующий экран и защитный экран из термостойкого стекла. С помощью таких излучателей можно создавать высокие плотности энергии – до 60 кВт/м². По длине излучателя удельная мощность составляет 3,0 – 4,0 кВт/м.