

М. Н. Смагина, Д. А. Смагин, А. А. Смоляк

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

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА НА ПРОЦЕСС НАГРЕВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЯСНОГО ФАРША

Аннотация. В работе описано, как изменяются теплофизические характеристики при нагревании мясных изделий. Показаны возможные способы обработки экспериментальных данных, полученных при нагревании изделий из мясного фарша. Установлено, что изменения теплофизических параметров обусловлены сложными процессами денатурации белка, плавления жира, переходом влаги из связанной формы в свободную, усадкой структурных элементов, формированием упруго-эластично-пластичной структуры готового изделия. В результате, зная и учитывая влияние теплофизических характеристик на процесс нагревания мясных изделий, можно точно рассчитать продолжительность тепловой обработки изделий из мясного фарша, что в свою очередь позволит оптимизировать затраты энергетических ресурсов на проведение тепловых процессов и обеспечит получение готовой продукции с высокими потребительскими характеристиками без недогрева или перегрева материала обрабатываемых тел.

Ключевые слова: изделия из мясного фарша, запекание, нестационарная теплопроводность, теплофизические характеристики, регулярный режим

M. N. Smagina, D. A. Smagin, A. A. Smolyak

Mogilev State University of Food Technologies, Mogilev, Republic of Belarus

INFLUENCE OF CHANGES IN THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL ON THE HEATING PROCESS OF MINCED MEAT PRODUCTS

Abstract: This paper describes how the thermophysical characteristics change when meat products are heated. Possible methods of processing experimental data obtained by heating minced meat products are shown. It is established that changes in thermal parameters are caused by complex processes of protein denaturation, fat melting, moisture transition from the bound form to the free form, shrinkage of structural elements, and the formation of resilient-elastic-plastic finished product. As a result, knowing and taking into account the influence of thermal characteristics on the heating process of meat products, it is possible to accurately calculate the duration of heat treatment of minced meat products, which in turn will optimize the cost of energy resources for thermal processes and ensure the production of finished products with high consumer characteristics without underheating or overheating the material of processed products.

Keywords: minced meat products, baking, non-stationary thermal conductivity, thermophysical characteristics, regular regime

Введение. Физическая сущность поверхностных способов тепловой обработки представляется сложным комплексом взаимосвязанных физико-химических, тепломассообменных, биохимических и других процессов, протекающих в массе продукта при подводе теплоты от поверхностных слоев. Поверхностные слои прогреваются сравнительно быстро, а температура глубинных слоев повышается постепенно, что обусловлено низкой теплопроводностью пищевых материалов. В результате в продукте возникает температурный градиент, направленный от периферии к центру. Последовательный прогрев слоев сопровождается фазовыми превращениями (испарение свободной влаги), физико-химическими и биохимическими реакциями (денатурация белков, плавление жира), приводящими к значительным изменениям структуры и теплофизических характеристик.

Основными процессами, происходящими в мясных полуфабрикатах при тепловой обработке, являются процессы переноса энергии и влаги. С этой точки зрения, изучение основ теории и расче-

тов переноса энергии является необходимым условием для проектирования процессов тепловой обработки. Используя результаты теории тепломассопереноса применительно к процессам тепловой обработки, можно выявить закономерности изучаемых явлений. В частности, появляется возможность установить кинетические закономерности теплопоглощения мясными изделиями.

В инженерных задачах из решения уравнения теплопроводности определяют основные физические закономерности, влияющие на формирование температурного поля. Точно определить температурное поле путем аналитического решения уравнения теплопроводности часто оказывается сложным из-за вариации теплофизических характеристик мясопродуктов, значения температуры среды, геометрических размеров объекта и пр.

Получить приближенные решения уравнений тепло- и массообмена, которые описывают соответствующие процессы в аналитической форме, и осуществить на основе этих решений расчет конкретных процессов возможно путем подробного анализа особенностей свойств мясопродуктов и характера протекания их тепловой обработки. Основой подобных расчетов являются значения теплофизических характеристик (ТФХ), которые и определяют скорость распространения теплоты в мясных фаршах. Однако теплофизические характеристики являются переменными и для пищевых продуктов значительно изменяются с ростом температуры материала изделия.

Теплофизические характеристики тесно связаны с химическим составом. При этом в пределах одной товароведческой категории (сорта) химический состав продуктов варьирует в достаточно широких пределах, что вызывает определенное изменение ТФХ мясопродуктов [1, 2, 3]. В связи с этими обстоятельствами, при расчете процессов распространения теплоты в мышечной ткани ТФХ могут быть определены с погрешностью $10 \pm 5\%$.

Характер распространения теплоты в толще продукта определяется коэффициентом теплопроводности. Коэффициент теплопроводности является физическим параметром, описывающим способность тела проводить теплоту. Экспериментальные данные показывают, что коэффициент теплопроводности в ряде случаев надо рассматривать как функцию температуры, а, следовательно, и пространственных координат, а также времени. Но даже при предположении о простейшем виде зависимости $\lambda = f(\tau, x)$ математический аппарат теории теплопроводности становится столь сложным, что получить аналитические решения в большинстве случаев не представляется возможным.

Теплопроводность не является аддитивной функцией, поэтому аддитивных уравнений не существует. При решении задач теплопроводности с достаточной для практических расчетов точностью полагают, что $\lambda = \text{const}$. Расхождения расчетных и экспериментальных данных, которые могут возникнуть в связи с таким допущением, корректируют с помощью эмпирических коэффициентов.

Основным показателем, характеризующим интенсивность изменения температуры внутри продукта, является коэффициент температуропроводности. Он служит мерой скорости изменения температуры в нестационарных тепловых процессах и является важнейшей теплоинерционной характеристикой твердых тел [1, 4, 5, 6].

Теплоемкость и плотность являются аддитивными характеристиками, вследствие чего для их расчета используют соответствующие закономерности:

$$c_{см} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n; \tag{1}$$

$$\rho_{см} = g_1 \rho_1 + g_2 \rho_2 + \dots + g_n \rho_n,$$

где g_1, \dots, g_n — массовые доли компонентов смеси; c_1, \dots, c_n — удельная теплоемкость компонентов смеси, Дж/(кг·К); ρ_1, \dots, ρ_n — плотность компонентов смеси, кг/м³.

При прочих равных условиях, чем выше удельная теплоемкость и больше потери энергии, связанные с агрегатными изменениями, тем меньше темп нагревания. При нагревании фаршей в диапазоне от 0 до 60 °С теплоемкость понижается. В дальнейшем при росте температуры до 80 °С теплоемкость незначительно повышается.

Плотность фарша при росте температуры и при увеличении влажности уменьшается.

Получены следующие формулы для коэффициента теплопроводности говяжьего фарша в зависимости от влажности:

при $45 < \varphi < 80 \%$, $T = 302 \text{ К}$:

$$\lambda = 0,125 + 0,00325\varphi, \tag{2}$$

при $45 < \varphi < 80 \%$, $T = 319 \text{ К}$:

$$\lambda = 0,158 + 0,0034\varphi. \tag{3}$$

Коэффициент температуропроводности как переменная, зависящая от плотности, теплопроводности и теплоемкости фарша, в результате изменяется по сложным законам. При нагревании фаршей в диапазоне 0...60 °С температуропроводность растет; при дальнейшем росте температуры до 80 °С

температуропроводность уменьшается. С повышением влажности фарша коэффициент температуропроводности увеличивается. С повышением содержания жира коэффициент температуропроводности уменьшается.

Процессы нагревания мясных изделий представляют собой процесс переноса теплоты за счет теплопроводности, когда температура системы изменяется не только от точки к точке, но и с течением времени, т.е. рассматриваемые процессы являются нестационарными.

Математической обработке может быть подвергнут только регулярный режим нестационарной теплопроводности. Регулярный режим характеризуется величиной темпа нагревания, которая не зависит ни от координат, ни от времени и является постоянной для всех точек тела.

Теория регулярного режима может быть применена при решении таких научно-практических задач, как описание особенностей протекания процесса нагревания и определение характера изменений теплофизических параметров вещества. Аналитическое описание процесса нагревания включает в себя дифференциальное уравнение и условия однозначности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности при отсутствии внутренних источников теплоты имеет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right], \quad (4)$$

где t — температура, К; τ — время, с;

Условия однозначности задаются в виде:

- ♦ теплофизических и физических параметров λ, a, c, ρ ;
- ♦ формы и геометрических размеров объекта $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$;
- ♦ температуры тела в начальный момент времени $\tau=0 \quad t=t_0=f(x,y,z)$.

В большинстве случаев задачи по определению температурного поля объекта целесообразно рассматривать в безразмерной форме. Помимо сокращения числа переменных и возможности получения решения в наиболее общем виде, приведение уравнения к безразмерному виду позволяет получить безразмерные комплексы параметров, которые сами по себе могут характеризовать ход изменения температурного поля.

Уравнение теплопроводности в безразмерной форме для одномерной задачи имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2}, \quad (5)$$

где Θ — безразмерная температура тела; ξ — безразмерная координата; Fo — число Фурье.

Процесс нагревания однородных тел характеризуется безразмерной температурой тела

$$\Theta = \frac{t_{жс} - t}{t_{жс} - t_0}, \quad (6)$$

где t — температура тела в момент времени $\tau > \tau_0$, °С; $t_{жс}$ — некоторая фиксированная температура, °С; t_0 — начальная температура тела, °С.

Безразмерная температура тела определяется безразмерной координатой, числом Био и числом Фурье, т.е.

$$\Theta = f(\xi; Bi; Fo). \quad (7)$$

Безразмерная координата ξ равна:

$$\xi = \frac{x}{l}, \quad (8)$$

где x — координата; l — характерный линейный размер, м.

Кривая $\Theta=f(Fo)$ определяет характер протекания процесса нагревания.

Уравнение, описывающее нестационарное температурное поле в теле, представляет собой сумму бесконечного ряда, члены которого расположены по быстро убывающим экспоненциальным функциям, и имеет следующий вид:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} A(\mu_n) U(\mu_n \bar{\xi}) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (9)$$

где A, U — табличные функции; μ_n — корни характеристического уравнения $\mu = \mu(Bi)$, значения $\mu(Bi)$ табулированы.

Специфика геометрической формы учитывается различным видом множителей $A(\mu_n)$ и $U(\mu_n \xi)$. Для тел одной и той же формы различным начальным распределением температуры будут соответствовать разные совокупности чисел $A(\mu_n)$.

Цель исследования — оценить влияние изменения теплофизических характеристик материала на характер протекания тепловой обработки изделий из мясного фарша.

Методы исследования. В качестве объектов исследования использовали фарш из куриного филе без кожи и фарш из лопаточной части свинины. Исследование данных образцов позволяет изучить влияние на процесс нагревания мясных фаршей, различных по структурному составу.

После проведения теоретических расчетов принято решение применять изделие из мясного фарша цилиндрической формы с размерами $d \times h = 57 \times 300$ мм и в форме пластины $l \times b \times h = 160 \times 160 \times 30$ мм. Отношение диаметра к длине цилиндра и длины к толщине пластины превышает кратность 5. Проведенные расчеты показывают, что при таком соотношении нагревание со стороны торцов практически не будет оказывать влияния на нагревание центральных слоев и полученное изделие можно рассматривать как бесконечный (неограниченный) цилиндр или бесконечную пластину.

При проведении эксперимента мясной фарш помещался в однослойный марлевый мешок, сшитый в виде цилиндра размером 57×300 мм или в форме пластины — $160 \times 160 \times 30$ мм (использовалась марля медицинская по ТУ ВУ 390287860.004-2011 с размерами ячеек 2×1 мм при плотности ткани 35 г/м²). При набивании фаршем марля натягивалась, размеры ячеек увеличивались и превышали исходные. В получаемом таким образом изделии мясной фарш напрямую контактирует с греющей средой, т.к. ячейки марли очень крупные по отношению к нитям. Мешок помещается в специальную кассету, представляющую собой сварную каркасную конструкцию из тонких металлических стержней. Металлические стержни занимают менее 3% площади кассеты и не оказывают заметного влияния на процесс нагревания заготовки.

Для проведения экспериментальных исследований разработана экспериментальная установка. Основу установки составляет пароконвективная печь инжекторного типа Unox-203G (Италия). Аппарат позволяет осуществлять тепловую обработку пищевых продуктов в среде нагретого воздуха и паровоздушных смесей в диапазоне температур до 260 °С и влажности греющей среды до 95 % при средней скорости движения теплоносителя $3,9$ м/с.

Экспериментальные исследования заключались в измерении температуры в центре изделия. Нагревание осуществляли методом конвективной тепловой обработки в среде нагретого воздуха при температуре греющей среды 160 °С, 180 °С, 200 °С. Проводилось несколько серий экспериментов с выведением средних значений по каждой серии и последующей обработкой.

Для измерения температуры использовали преобразователи термоэлектрические (термопары) ТХА(К)-1199/52/2/1500/0,5 с диаметром термоэлектродов $0,5$ мм в кремнеземной оплетке (по ГОСТ 8.338-2002). Термопары крепились к специальной конструкции жесткой фиксации, что обеспечивало точность их установки и исключало сбивание головок.

Результаты исследований. При аналитическом описании результатов экспериментальных исследований возникает вопрос, какое значение фиксированной температуры принимать при определении безразмерной температуры. В классической теории теплообмена при нагревании твердых тел в качестве таковой принимают температуру греющей среды. Но пищевые продукты являются влажными телами со сложной структурой, что усложняет процесс внутреннего теплообмена. Количество влаги, испарившейся за время тепловой обработки пищевых масс, значительно меньше ее количества, остающейся в изделии. Поверхность изделия быстро нагревается до 100 °С и дальше превышает данную температуру с образованием корки. Влага в корке постоянно находится в парообразном состоянии, что обусловлено вскипанием свободной влаги. Глубинные слои будут стремиться войти в состояние теплового равновесия с температурой водяных паров корки изделия. Таким образом, пар при температуре насыщения в корке на поверхности изделия можно отнести к окружающей (греющей) среде $t_{np} = t_n = 100$ °С при атмосферном давлении. Поэтому для температурного поля внутри запекаемого изделия в качестве фиксированной температуры окружающей среды (или предельной температуры) можно принимать как температуру теплообменной среды в рабочей камере, так и температуру насыщения водяного пара, содержащуюся в корке.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась по обоим вариантам для определения выражения, наиболее корректно описывающего процесс нагревания.

Измеренные значения температуры в центре исследуемых образцов показали традиционный для классической теории нестационарной теплопроводности характер изменения температуры во времени (наличие неупорядоченного и регулярного режима теплопроводности).

По итогам первичной обработки экспериментальных данных получили, что регулярный режим нестационарной теплопроводности практически наступает при значении числа Фурье более $0,11$ для обоих вариантов обработки и обоих продуктов.

Дальнейшую обработку проводили по двум вариантам.

Вариант 1. В качестве фиксированной температуры принимали температуру насыщения водяных паров, образуемых в корке изделия.

Аппроксимацию данных для регулярного режима (рис. 1) проводили при постоянном значении коэффициента температуропроводности, равном $12 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ для куриного фарша и $10,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ для свиного фарша [2, 3].

При регулярном режиме теплопроводности график изменения безразмерной температуры материала от числа Фурье характеризуется прямой линией. По данным рис. 1 видно, что кривые $\Theta=f(Fo)$ имеют отклонения от прямой линии (выгибаются вверх). При этом наблюдается определенная закономерность: при всех исследованных температурных режимах для обоих вариантов фаршей (куриного и свиного) деформация температурной кривой цилиндрических изделий наблюдается при практически одинаковых значениях числа Фурье (от 0,15...0,18 до 0,22...0,27). Для изделий в форме пластины аналогичная деформация наблюдается при значениях числа Фурье от 0,32...0,35 до 0,6...0,67. Несмотря на различие форм изделий и вида фаршей, указанные значения числа Фурье соответствуют одинаковому диапазону температуры, равному 45–75 °С.

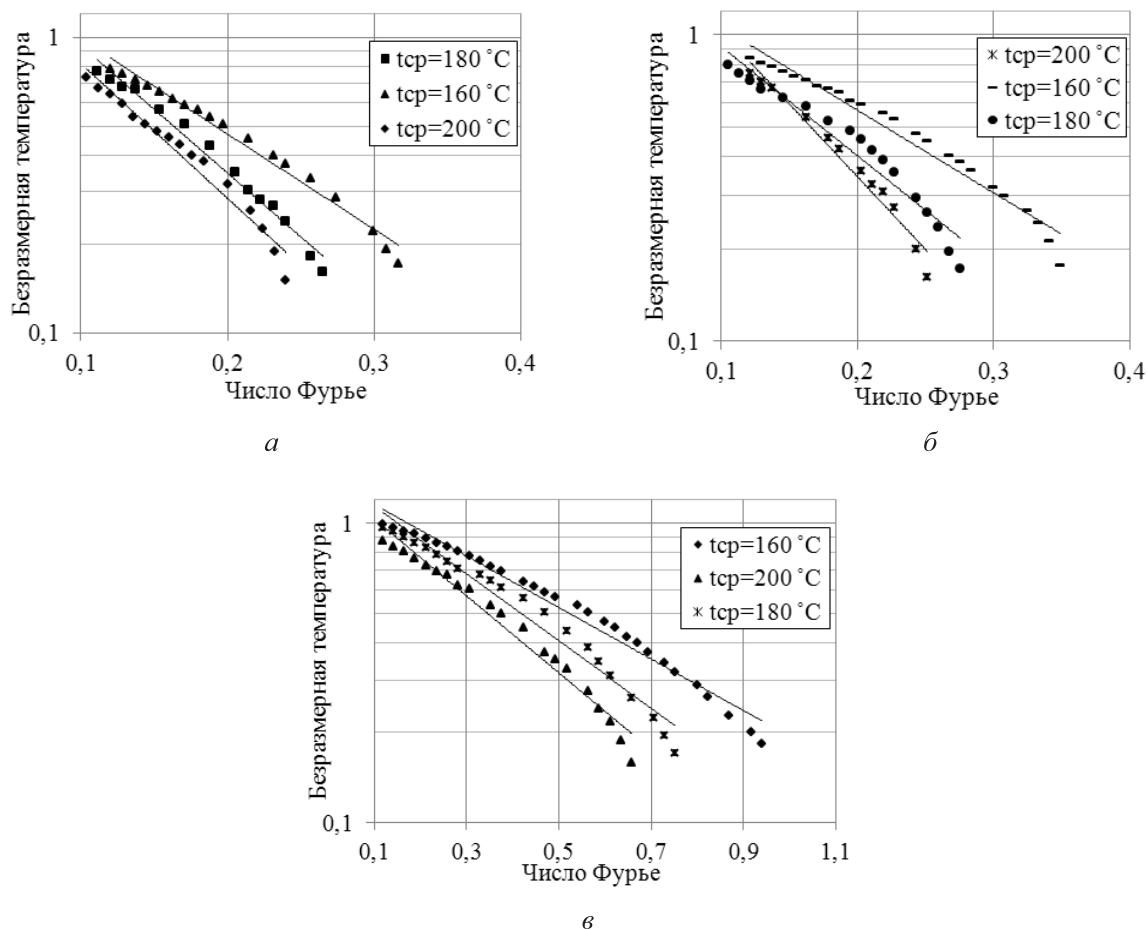


Рис. 1. Изменение температурного поля в центре исследуемых образцов для регулярного режима при $t_* = 100 \text{ °C}$: а) куриный фарш в форме цилиндра; б) свиной фарш в форме цилиндра; в) куриный фарш в форме пластины

Fig. 1. Change in the temperature field in the center of the test samples for regular regime at $t_m = 100 \text{ °C}$: а) minced chicken in the form of a cylinder; б) minced pork in the form of a cylinder; в) minced chicken in the form of a platter

Очевидно, что протекающие в материале массообменные процессы и физико-химические реакции приводят к колебаниям теплофизических характеристик материала тела, что искажает характер регулярного режима теплопроводности.

Было принято решение ввести в расчет изменение коэффициента температуропроводности от температуры материала. Аппроксимация данных с учетом изменения температуропроводности изделия при тепловой обработке представлена на рис. 2.

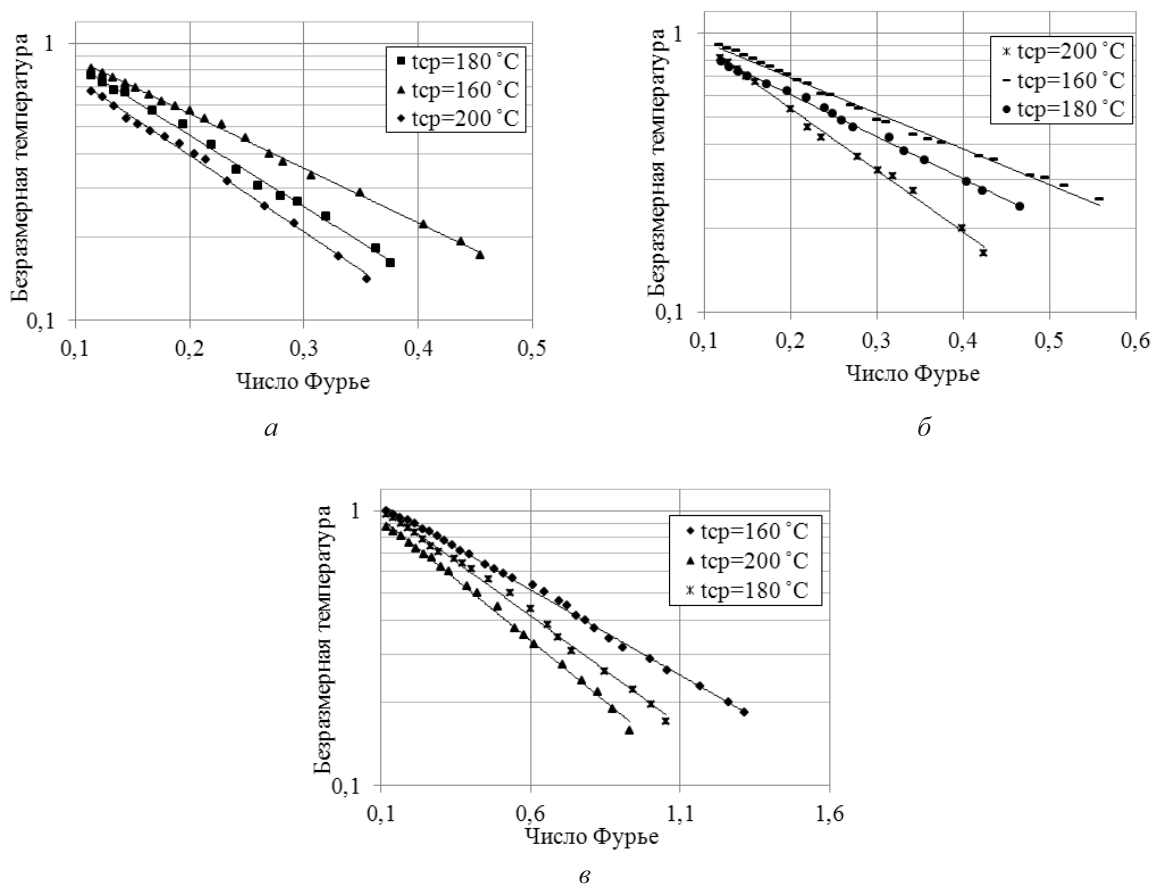


Рис. 2. Изменение температурного поля в центре исследуемых образцов для регулярного режима с учетом изменения температуропроводности материала при $t_{ж}=100\text{ °C}$: а) куриный фарш в форме цилиндра; б) свиной фарш в форме цилиндра; в) куриный фарш в форме пластины
 Fig. 2. Change in the temperature field in the center of the test samples for regular regime, taking into account changes in the temperature conductivity of the material at $t_m=100\text{ °C}$: а) chicken mince in the form of a cylinder; б) pork mince in the form of a cylinder; в) chicken mince in the form of a platter

Как видно из рис. 2, имеющийся при постоянном значении коэффициента температуропроводности изгиб у кривых $\Theta=f(Fo)$ после корреляции данных вырождается в практически прямые линии. Данный вид кривой соответствует регулярному режиму теплопроводности.

Таким образом, деформация кривых на рис. 1а и 1б в диапазонах числа Фурье от 0,15...0,18 до 0,22...0,27 (на рис. 1в — от 0,32...0,35 до 0,6...0,67) обусловлена колебаниями коэффициента температуропроводности материала, которая исчезает при их представлении на рис. 2.

В ходе математического описания процессов нагревания мясных фаршей при использовании в качестве фиксированной температуры температуру насыщения водяных паров $t_{ж}=100\text{ °C}$, образуемых в корке изделия, необходимо учитывать изменение теплофизических характеристик с ростом температуры материала изделия.

Вариант 2. В качестве фиксированной температуры принимали температуру греющей среды. Характер изменения температурного поля образцов показан на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что кривые $\Theta=f(Fo)$ для второго варианта обработки являются практически прямыми линиями, характерными для регулярного режима теплопроводности. При этом графические зависимости, приведенные на рис. 3, показывают очень высокую сходимость результатов при обработке данных по температуре греющей среды по сравнению с значительно более низкой сходимостью результатов при обработке данных по температуре насыщения водяного пара (рис. 1).

Результаты обработки экспериментальных данных с учетом изменения температуропроводности материала представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что сходимость результатов при обработке данных о температуре греющей среды с учетом изменения температуропроводности материала более высокая, чем при обработке данных, полученных при постоянном значении температуропроводности, что подтверждает выводы, сделанные по результатам обработки по варианту 1 (рис. 1 и 2).

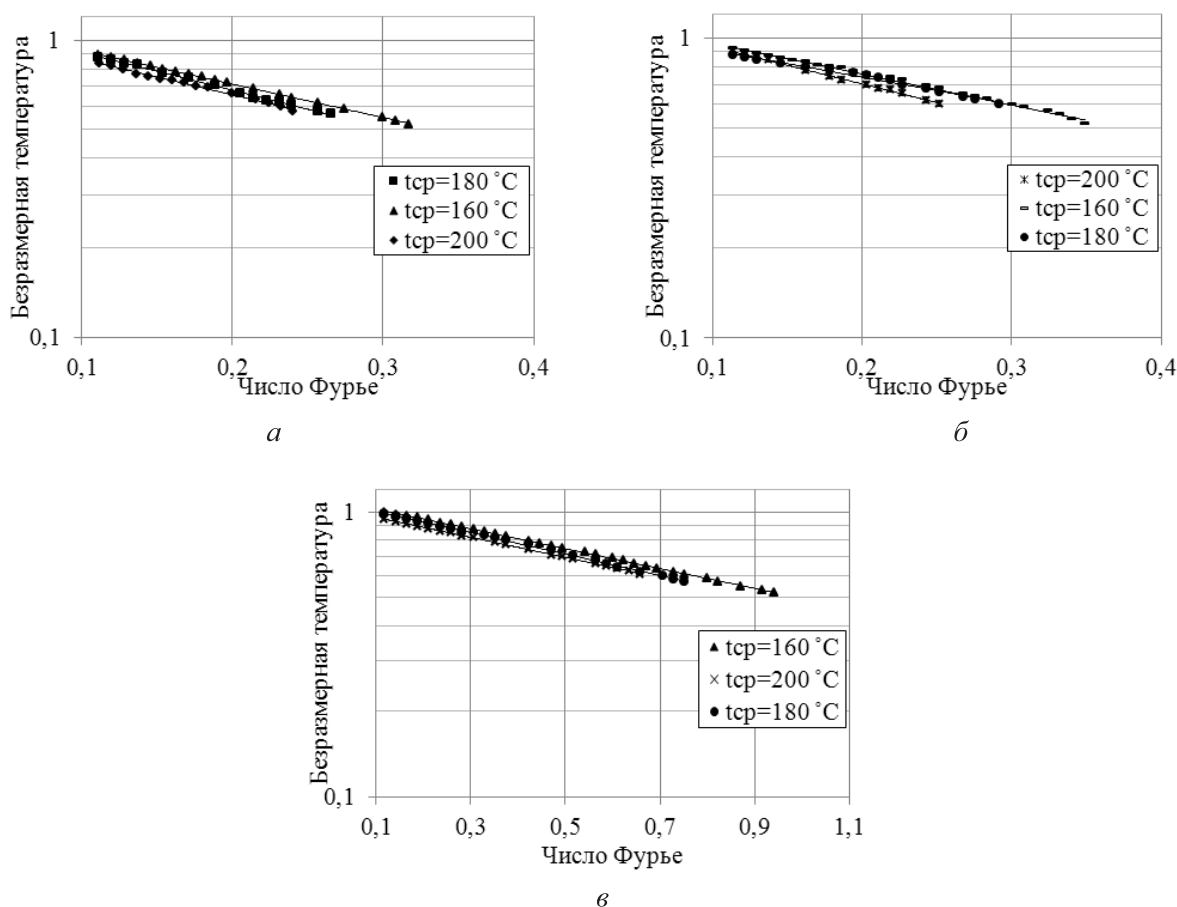


Рис. 3. Изменение температурного поля в центре исследуемых образцов для регулярного режима при $t_{ж} = t_{cp}$: а) куриный фарш в форме цилиндра; б) свиной фарш в форме цилиндра; в) куриный фарш в форме пластины

Fig. 3. Change in the temperature field in the center of the test samples for regular regime at $t_m = t_{en}$: а) chicken minced meat in the form of a cylinder; б) pork minced meat in the form of a cylinder; в) chicken minced meat in the form of a platter

При этом линии на рис. 4 образуют практически единую прямую линию и имеют наибольшую сходимость результатов обработки экспериментальных данных в сравнении с данными на рис. 1–3. Данный результат позволяет проводить наиболее точное математическое описание процесса нагревания.

Однако расхождение линий на рис. 3 выше, чем на рис. 4, что позволяет применять усредненный коэффициент теплопроводности для расчетов, не требующих высокой точности (например, для практических расчетов в производственных условиях и в учебном процессе).

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что при всех исследованных температурных режимах для обоих вариантов фаршей наблюдается искажение характера регулярного режима нестационарной теплопроводности (деформация температурной кривой) для изделий в форме бесконечного цилиндра при значениях числа Фурье от 0,15...0,18 до 0,22...0,27.

При всех исследованных температурных режимах для обоих вариантов фаршей наблюдается искажение характера регулярного режима нестационарной теплопроводности (деформация температурной кривой) для изделий в форме бесконечной пластины при значениях числа Фурье от 0,32...0,35 до 0,6...0,67.

Искажение характера регулярного режима нестационарной теплопроводности (деформация температурных кривых) изделий из мясного фарша обусловлено изменением коэффициента теплопроводности материала и исчезает при введении в расчет числа Фурье значений коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры.

При математическом описании процессов нагревания мясных фаршей в ходе проведения научно-исследовательских работ (требующих высокой точности измерений и обработки данных) следует учитывать изменение теплофизических характеристик с ростом температуры материала изделия.

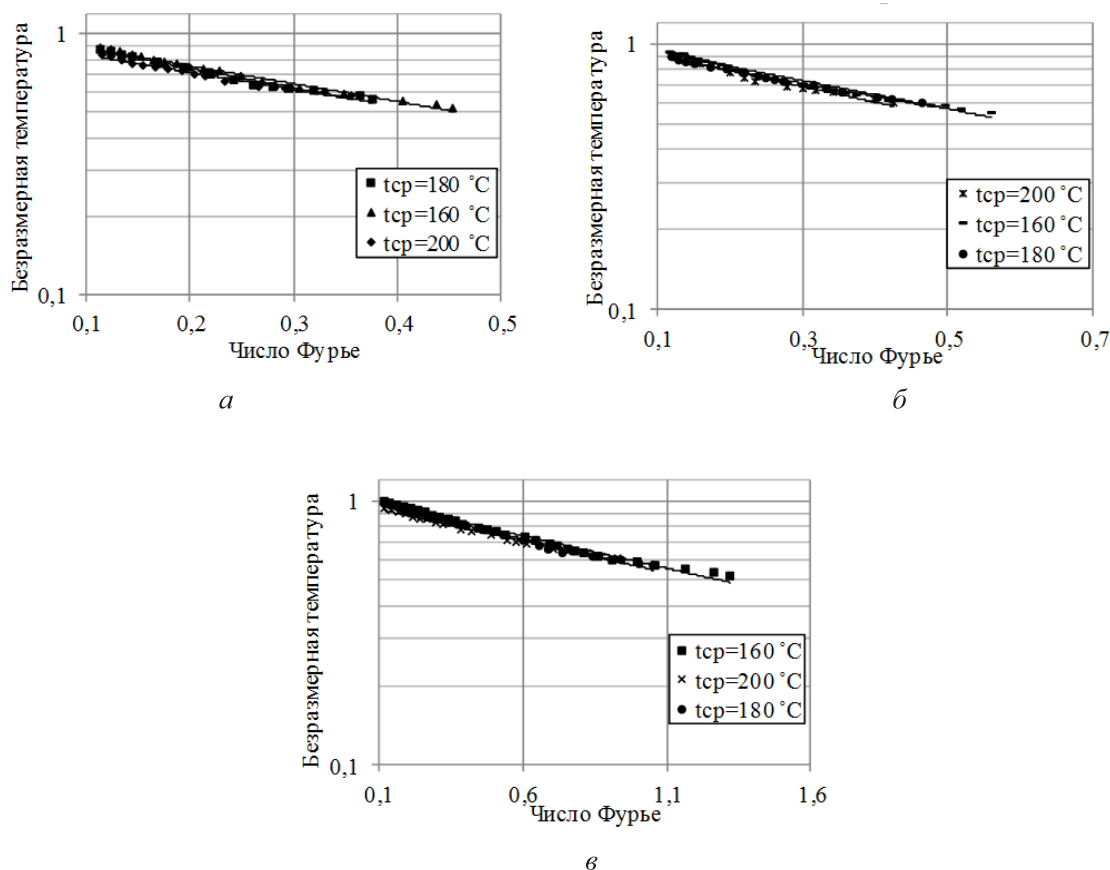


Рис. 4. Изменение температурного поля в центре исследуемых образцов для регулярного режима с учетом изменения температуропроводности материала при $t_{ж} = t_{cp}$: а) куриный фарш в форме цилиндра; б) свиной фарш в форме цилиндра; в) куриный фарш в форме пластины

Fig.4. Change in the temperature field in the center of the test samples for the regular regime, taking into account the change in the temperature conductivity of the material at $t_m = t_{en}$: а) chicken minced meat in the form of a cylinder; б) pork minced meat in the form of a cylinder; в) chicken minced meat in the form of a platter

В практических расчетах на производстве и в учебном процессе (не требующих высокой точности измерений и обработки данных) математическое описание процесса нагревания мясных фаршей можно осуществлять по постоянному значению коэффициента температуропроводности. Для описания процессов нагревания мясных фаршей при расчете безразмерной температуры целесообразно принимать температуру греющей среды в рабочей камере, нежели температуру насыщения водяных паров, образующихся в корке изделия.

Список использованных источников

1. Бражников, А.М. Теория термической обработки мясopодуков / А.М. Бражников. — М.: Агрoпрoмиздат, 1987. — 271 с.
2. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник. / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. — 2-е изд. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 288 с.
3. Чубик, И.А. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов и полуфабрикатов / И.А. Чубик, А.М. Маслов. — М.: Пищевая промышленность, 1965. — 156 с.
4. Беляев, Н.М. Методы нестационарной теплопроводности. Учеб. пособие для вузов. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. — М.: Высш. школа, 1978. — 328 с.
5. Исаченко, В.П. Теплопередача. Учебник для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. — 4-е изд. — М.: Энергия, 1981. — 415 с.
6. Пелеев, А.И. Тепловое оборудование колбасного производства / А.И. Пелеев, А.М. Бражников, В.А. Гаврилова. — М.: Пищевая промышленность, 1970. — 383 с.

7. Соколов, А.А. Технология мяса и мясопродуктов / А.А. Соколов [и др.]; под общ. ред. А.А. Соколова. — 2-е изд. — М.: Пищевая промышленность, 1970. — 740 с.
8. Рогов, И.А. Технология мяса и мясных продуктов. / И.А. Рогов, А.Г. Забашта, Г.П. Казюлин. — М.: КолосС, 2009. — Книга 2. Технология мясных продуктов. — 712 с.

References

1. Bragnikov A.M. Teoriya termicheskoy obrabotki myasoproduktov [Theory of heat treatment of meat products], Moscow, Agropromizdat, 1987, 271 p.1 (in Russian).
2. Ginzburg A.S., Gromov M.A., Krasovskaya G. I. Teplofizicheskie karakteristiki pischevyykh produktov [Thermophysical characteristics of food products: reference.], Moscow, «Food industry», 1980, 288 p. (in Russian).
3. Chubik I.A., Maslov A.M. Spravochnik po teplofizicheskim konstantam pischevyykh produktov i poluphabrikatov [Reference book on thermophysical constants of food products and semi-finished products], Moscow, «Food industry», 1965, 156 p. (in Russian).
4. Belyaev N. M., Readno A. A. Metody nestacionarnoy teploprovodnosti [Methods of non-stationary heat conduction], Moscow, Higher school, 1978, 328 p. (in Russian).
5. Isachenko V. P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha [Heat transfer. Textbook for universities.], Moscow, «Energy», 1981, 415 p. (in Russian).
6. Peleev A.I., Bragnikov A.M., Gavrilova V.A. Teplovoe oborudovanie kolbasnogo proizvodstva [Thermal equipment for sausage production], Moscow, «Food industry», 1970, 383 p. (in Russian).
7. Sokolov A.A. Tehnologiy myasa i maysoproduktov [Technology of meat and meat products], Moscow, «Food industry», 1970, 740 p. (in Russian).
8. Rogov I.A., Zabashta A.G., G.P. Kazulin Tehnologiy myasa i maysnyh produktov [Technology of meat and meat products], Moscow, «KolosS», 1970, B.2, 712 p. (in Russian).

Информация об авторах

Смагина Марина Николаевна — аспирант, Могилевский государственный университет продовольствия (пр. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: m.n.smagina@mail.ru

Смагин Денис Алексеевич — кандидат технических наук, доцент, Могилевский государственный университет продовольствия (пр. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: denis_smagin@mail.ru

Смоляк Аркадий Арсентьевич — кандидат технических наук, доцент, Могилевский государственный университет продовольствия (пр. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь).

Information about authors

Smagina Marina N. — Postgraduate Student, Mogilev State University of Food Technologies (3 Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: m-a-r-i-s-h-a88@mail.ru

Smagin Denis A. — Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Mogilev State University of Food Technologies (3 Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: denis_smagin@mail.ru

Smolyak Arkadiy A. — Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Mogilev State University of Food Technologies (3 Schmidt Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).