

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НАГРЕВАНИИ МЯСНОГО ФАРША И МОДЕЛЬНЫХ ТЕЛ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

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

*Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Актуальность и цель исследования обусловлены необходимостью снижения затрат на экспериментальное изучение процессов теплообмена при нагревании мясного фарша за счет его замены на модельное тело. Научная задача – сравнительный анализ процессов нагревания в среде горячего воздуха при атмосферном давлении влажной глины, увлажненных опилок и мясного фарша.

**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проводились для трех образцов (мясной фарш, влажная глина и увлажненные опилки) цилиндрической формы диаметром 50...60 мм длиной 300 мм. Образцы подвергали конвективной обработке при температуре 160 °С и относительной влажности воздуха 10–15 %. Измерение температуры осуществлялось при помощи термоэлектронных преобразователей типа ТХА.

**Результаты.** Характер изменения температуры на поверхности всех образцов качественно не различается. Температурные кривые для образца из влажных опилок выходят на горизонтальный участок не при температуре насыщения водяного пара (100 °С), а значительно раньше (примерно 70 °С). Переход к регулярному режиму теплопроводности при нагревании мясного фарша происходит при значении числа Фурье выше 0,16, для тел из влажной глины – при значении выше 0,1. Получены критериальные уравнения изменения безразмерной температуры для мясного фарша и влажной глины.

**Выводы.** Влажная глина, увлажненные сосновые опилки или их смеси не могут быть использованы в качестве модельного тела вместо мясного фарша. Установлено, что теория регулярного режима теплопроводности применима при изучении нагревания влажных тел. Значение корня характеристического уравнения близко к табличному для изделий из мясного фарша при граничных условиях первого рода и имеет значительные расхождения для образца из влажной глины.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *теплообменные процессы, нагревание влажных тел, мясной фарш, модельное тело, нестационарная теплопроводность.*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Смоляк, А. А. Сравнительная оценка процессов теплообмена при нагревании мясного фарша и модельных тел в воздушной среде / А. А. Смоляк, М. Н. Смагина, Д. А. Смагин // Вестник МГУП. – 2019. – № 1 (26). – С. 120–129.

## COMPARATIVE EVALUATION OF HEAT EXCHANGE PROCESSES DURING HEATING OF MINCED MEAT AND MODEL BODIES IN AIR

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

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

### ABSTRACT

**Introduction.** The relevance and purpose of the study are due to the need to reduce the cost of experimental studies of heat transfer processes when heating minced meat by replacing it with a model body. The scientific problem consists in the comparative analysis of heating processes of wet clay, moistened sawdust and minced meat in hot air at atmospheric pressure.

**Materials and methods.** Experimental studies were carried out with three samples (minced meat, wet clay and moistened sawdust) of cylindrical shape with a diameter of 50...60 mm and a length of 300 mm. The samples were subjected to convective processing at a temperature of 160 °C and a relative humidity of 10–15 %. Temperature was measured in the center and on the surface of the samples by means of TCA thermionic converters.

**Results.** The nature of the temperature changes on the surface of all samples does not differ greatly. The temperature curves for a sample of wet sawdust go to a horizontal section not at the temperature of saturation of water vapor (100 °C), but much earlier (about 70 °C). The transition to steady-state conditions of thermal conductivity when heating minced meat occurs when the Fourier number is higher than 0,16 and for wet

clay bodies - when the value exceeds 0,1. Criteria equations for changing dimensionless temperature for minced meat and wet clay were obtained.

**Conclusions.** Wet clay, moistened pine sawdust or their mixtures can not be used instead of minced meat as a model body for experimental studies. Theory of steady-state conditions of thermal conductivity was found to be applicable in the study of heating wet bodies. The value of performance equation root is close to the tabular data for minced meat products at the first-type boundary conditions and has significant discrepancy for wet clay sample.

**KEY WORDS:** *heat exchange processes, heating of wet bodies, minced meat, model body, transient heat conduction.*

**FOR CITATION:** Smolyak A. A., Smagina M. N., Smagin D. A. Comparative evaluation of heat exchange processes during heating of minced meat and model bodies in air. Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies. 2019. No.1 (26). P. 120–129. (in Russian).

**ACKNOWLEDGEMENTS:** We thank the reviewer for his positive feedback.

## ВВЕДЕНИЕ

Многообразие процессов пищевой технологии, большая номенклатура изделий, дороговизна и неустойчивость пищевых продуктов при хранении вынуждают в исследовательской практике искать им замену в виде модельных тел. В частности, замену мясному фаршу в экспериментальных исследованиях по изучению процессов теплообмена при его нагревании. Таким образом, объектом исследования является процесс теплообмена при нагревании мясного фарша в воздушной среде и влажных тел различного состава в качестве его модельных тел.

На особенности протекания теплообменных процессов оказывают влияние следующие факторы: температура, влажность и скорость движения теплоносителя; состав и структура продукта; геометрические размеры продукта. Темп нагрева зависит от теплофизических характеристик, скорости испарения воды или конденсации пара, наличия плавящегося жира, изменения коэффициента теплоотдачи и геометрических размеров продукта [1, 2].

Основным показателем, характеризующим интенсивность изменения температуры внутри продукта, является коэффициент температуропроводности. Коэффициент температуропроводности служит мерой скорости изменения температуры в нестационарных тепловых процессах и является важнейшей теплоинерционной характеристикой твердых тел [2–8]. Коэффициент температуропроводности определяется по формуле (1):

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К);

$c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг×К);

$\gamma$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Значение коэффициента теплопроводности мясopодуKтов зависит от их состава, наличия примесей, фазового состояния компонентов (например, оплавлен жир или нет и пр.) [9, 10]. Экспериментальные данные показывают, что коэффициент теплопроводности в общем случае 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.

Одним из наиболее весомых компонентов многих пищевых продуктов является влага. Для многих из них вода представляет собой преобладающий компонент в их составе. Поэтому пищевые продукты часто рассматривают как смесь сухих веществ и воды.

Содержание влаги влияет на теплофизические свойства продуктов, в том числе и на коэффициенты теплопроводности и температуропроводности. Но, если такие свойства, как плотность и теплоемкость являются аддитивными и могут быть вычислены по составу изделия,

то коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , а следовательно и коэффициент температуропроводности  $a$ , принято считать неаддитивными [3–8].

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.

Дифференциальное уравнение, характеризующее процесс распространения теплоты, имеет вид (2) [1, 3–8, 11]:

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

где  $t$  – температура, К;

$\tau$  – время, с;

$q_V$  – удельная мощность внутренних источников теплоты, Вт/м<sup>3</sup>.

Дифференциальное уравнение (2) имеет бесчисленное множество решений. Для выделения единственности их решения необходимо задать состояние системы в начале процесса (начальные условия) и характер взаимодействия между рассматриваемой системой и окружающей средой (граничные условия).

В классической теории теплопроводности скорость распространения теплоты предполагается бесконечно большой. Мясопродукты имеют капиллярно-пористую структуру с клеточными перегородками, жировые включения, которые могут плавиться. Поэтому для таких реальных тел, какими являются мясопродукты, скорость распространения теплоты является конечной [1–3].

А. Ф. Горбатовым и Б. П. Пилипенко предложено оценивать скорость распространения теплоты на основе реологических характеристик мясопродуктов [3, 12, 13].

В основе данного подхода лежит выражение, позволяющее описать скорость распространения теплоты, исходя из периода релаксации (3) [3, 12, 13]:

$$\omega = \sqrt{\frac{a}{\tau_p}} = \sqrt{\frac{\lambda}{c\tau_p\gamma}}, \quad (3)$$

где  $\tau_p$  – период релаксации, с.

Период релаксации характеризует время, за которое отклонения от равновесия уменьшаются в  $e$  раз. Процесс переноса энергии и массы возможен лишь при наличии движущей силы, т.е. при отклонении системы от состояния равновесия. Однако процесс нестационарной теплопроводности, каким является нагревание или охлаждение тел в среде с постоянной температурой, по существу тоже является процессом восстановления равновесия, т.е. релаксацией температурного равновесия. Релаксация – процесс установления термодинамического равновесия в макроскопических физических системах.

Некоторые авторы (например А. М. Бражников) для определения скорости распространения теплоты в мясном фарше используют период релаксации  $\tau_p = 103$  с [1], найденный для процесса механической релаксации напряжений сдвига. И в результате получают очень низкую скорость распространения теплоты  $\omega = 0,11 \times 10^{-4}$  м/с. Надо полагать, что структурно-механическая релаксация не тождественна тепловой релаксации. Период релаксации в реологии характеризует время восстановления структурно-механических свойств продукта после снятия напряжения сдвига, а не выравнивание температурного поля по объему продукта. И считать одинаковыми периоды релаксации в реологии и в теплопроводности вряд ли правомерно.

А. М. Бражников предложил применить определение скорости распространения теплоты на основе реологических характеристик мясопродуктов на практике.

В. Д. Косым установлено, что смесь влажной глины с опилками приближает геометриче-

ское и физическое строение полученной смеси к мясному фаршу. Получаемая глиняная паста и мясной фарш имеют коагуляционный тип структуры, характеризующийся относительно слабыми силами сцепления между частицами или белковыми молекулами через водяные прослойки в местах контакта [14].

А. Л. Желудковым определена оптимальная формула соотношения глины, воды и опилок, моделирующая структурно-механические свойства мясного фарша [15].

Таким образом, в научной литературе присутствуют предложения о определении особенностей протекания теплообмена на основе реологических характеристик мясопродуктов, но отсутствуют экспериментальные исследования возможности замены мясного фарша модельным телом для изучения процессов теплообмена.

Нами выдвинута гипотеза о возможности использования в качестве модельного тела влажной глины в смеси с опилками. Глина и опилки, как и мясной фарш, являются влажными телами со схожими реологическими свойствами, поэтому можно предположить, что нагревание влажной глины и опилок будет иметь подобный характер с тепловой обработкой мясных изделий.

Анализ особенностей свойств мясопродуктов и характера термической обработки позволил получить приближенные решения уравнений переноса, которые описывают соответствующие процессы в относительно простой аналитической форме, а также осуществить на основе этого решения расчет конкретных процессов подвода тепла.

Аналитическое описание процесса перераспределения теплоты в колбасных батонах осуществляют при следующих допущениях [1, 3]:

- колбасный фарш рассматривается как однородная изотропная система;
- основным физическим механизмом процесса передачи теплоты является молекулярная теплопроводность;
- теплофизические характеристики считаются постоянными в определенном интервале температур;
- геометрические размеры колбасных изделий в процессе их термической обработки не изменяются;
- колбасный батон уподобляется бесконечному цилиндру;
- коэффициент теплоотдачи от греющей среды к поверхности продукта принимается постоянным;
- влиянием массообмена на процесс распространения теплоты пренебрегают.

Целью исследования является сокращение затрат на проведение экспериментальных исследований по изучению процессов теплообмена мясного фарша при нагревании за счет его замены модельным телом. Научная задача – сравнение особенностей процесса нагревания в среде горячего воздуха при атмосферном давлении влажной глины и увлажненных опилок с изделием из мясного фарша для обоснования выбора модельного тела.

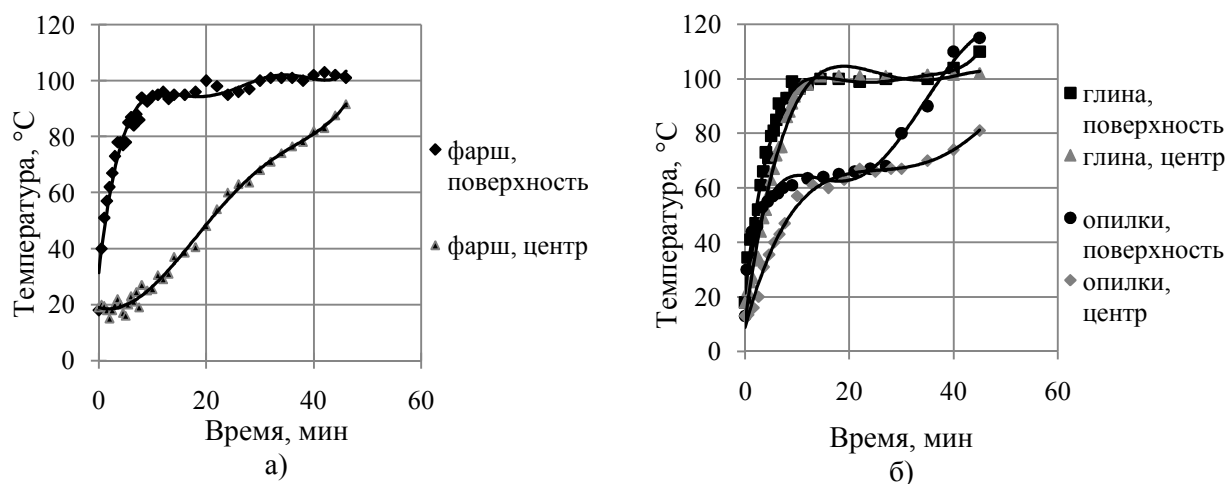
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились для образцов: мясной фарш, влажная глина, увлажненные опилки. Образцам придавали форму цилиндрическую форму диаметром 50...60 мм, длиной 300 мм, фиксировали ее при помощи марли. Экспериментальные исследований заключались в измерении температуры. Нагревание осуществляли методом конвективной тепловой обработки в среде нагретого воздуха при температуре 160 °С и относительной влажности воздуха 10–15 %. Влажность исходных образцов составляла от 72 до 75 %.

Для измерения температуры в разных точках образцов (в центре и на поверхности) использовали преобразователи термоэлектрические (термопары). Термопары закрепляли к решетке под углом 90° на разной высоте с учетом определения температуры в разных слоях продукта при помощи проволоки. Исследуемые образцы располагали на решетке, нанизывая их на термопары. Регистрировали изменения температуры во времени.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты измерений показаны на рис. 1.



а – мясной фарш; б – влажная глина и увлажненные сосновые опилки

**Рис. 1.** Изменение температурного поля образцов

**Fig. 1.** Changes in temperature field of the samples

Измерения температуры на поверхности изделий показали качественное совпадение характера ее изменения на всех образцах. Однако характер изменения температурного поля в центре изделий существенно отличается. Температура в центре изделий из влажной глины и влажных опилок начинает практически сразу возрастать, в то время как в изделиях из мясного фарша температура в центре начинает расти с большим отставанием во времени. Различное изменение температурного поля можно объяснить тем, что влага в мясном фарше находится в связанном состоянии, а во влажной глине и влажных опилках – полностью или в основном в свободном состоянии.

Кроме того, отличительной особенностью изменения температурного поля в образце из влажных опилок является то, что температурные кривые выходят на горизонтальный участок не при температуре насыщения водяного пара (100 °C), а значительно раньше (примерно 70 °C).

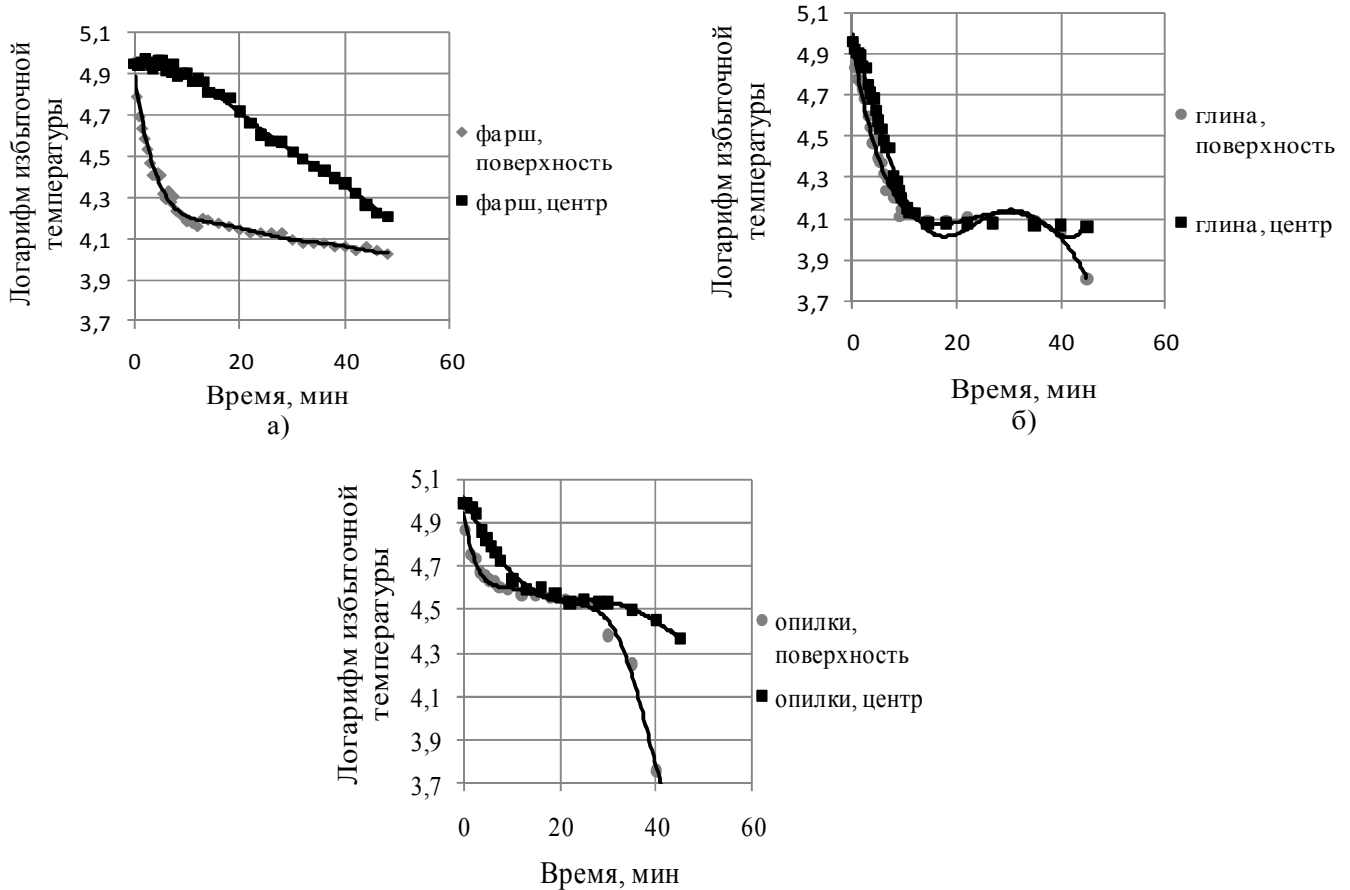
Но при нагревании мясного фарша температура поверхности не совсем постоянна. Замечено, что она очень медленно возрастает. Можно предположить, что в случае нагревания мясного фарша кроме испарения влаги сказываются другие физико-химические и структурно-механические процессы (сваривание коллагена, денатурация и коагуляция белков, формирование структуры и др.) в поверхностном слое изделия.

Такой характер изменения температуры означает изменение граничных условий на поверхности изделия в аналитическом описании процесса. На начальном этапе, пока температура на поверхности изделия не приблизится к температуре испарения влаги и в нем нет фазовых превращений или других физико-химических превращений, мы имеем обычный процесс нагревания тела при граничных условиях третьего рода в греющей среде с постоянной температурой, который может иметь неупорядоченный и регулярный режимы изменения температуры. Граничные условия здесь характеризуются невысокими значениями числа Био, так как коэффициент теплоотдачи от газовой среды невысокий. Начальная температура при этом  $t_0 = \text{const}$ . А предельной температурой является температура греющей среды.

На интервале времени с постоянной температурой у поверхности граничные условия изменяются и становятся граничными условиями первого рода. Постоянная температура у поверхности эквивалентна ситуации, когда при граничных условиях третьего рода число Био стремится к бесконечности ( $Bi \rightarrow \infty$ ). Это означает, что прогрев изделия осуществляется теплопроводностью внутри его и определяется только его свойствами. А избыточная теплота, получаемая изделием, расходуется на испарение влаги из поверхностного слоя. Начальными

условиями здесь следует считать температурное поле в изделии, сформировавшееся к началу этого периода. Поскольку влажное тело не может иметь температуру выше температуры испарения, то предельной температурой на этом этапе является температура испарения. Здесь возникают сложности с заданием начальных условий для этого периода. Этот вопрос требует детального исследования.

Для исследования характера процесса нагревания изделий с точки зрения теории нестационарной теплопроводности изменение безразмерной температуры во времени представлено в полулогарифмических координатах на рис. 2.



а – мясной фарш; б – влажная глина; в – влажные сосновые опилки

**Рис. 2.** Изменение во времени избыточной температуры

**Fig. 2.** Changes in excessive temperature duration

Избыточная температура  $\mathcal{G}$  определяется по формуле (4):

$$\mathcal{G} = t_{cp} - t, \tag{4}$$

где  $t_{cp}$  – температура греющей среды, °С;

$t$  – температура тела в данный момент времени, °С.

Безразмерная температура  $\Theta$  определяется по формуле (5):

$$\theta = \frac{t_{жс} - t}{t_{жс} - t_0}, \tag{5}$$

где  $t_{жс}$  – фиксированная температура, °С;

$t$  – температура тела в данный момент времени, °С;

$t_0$  – температура в начальный момент времени, °С.

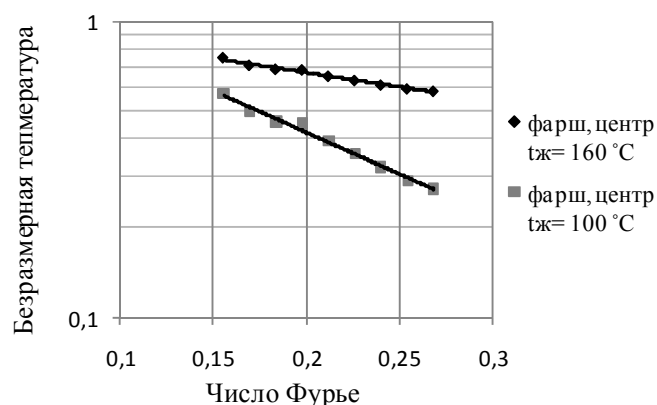
Из рис. 2а видно, что через 15 минут график изменения избыточной температуры центра изделия изображается прямой линией, что соответствует регулярному режиму теплопроводности в однородном теле. При нагревании исследуемых изделий процесс нагревания осложняется дополнительными явлениями. В результате нагревания поверхности тела происходит процесс диффузии влаги из центра изделия к периферии и одновременно уменьшается содержание влаги в изделии, что должно привести к некоторому изменению теплофизических свойств. Однако графики на рис.2а показывают, что эти явления практически не искажают характер регулярного режима теплопроводности. Этим экспериментально подтверждается, что законы нестационарной теплопроводности однородных тел можно применять для мясных изделий, подвергаемые тепловой обработке в среде горячего воздуха.

Графики изменения избыточной температуры поверхности и центра образца из влажной глины (рис. 2б) изображаются прямыми параллельными линиями через 5 мин после начала тепловой обработки, что соответствует регулярному режиму теплопроводности в однородном теле.

Из рис. 2в видно, что графики изменения избыточной температуры образца из увлажненных сосновых опилок не изображаются прямыми линиями. Следовательно, процесс нагревания этого образца не соответствует регулярному режиму теплопроводности в однородном теле.

Известно, что регулярный режим наступает для шара и бесконечного цилиндра при значениях числа Фурье  $Fo > 0,25$ . Поэтому осуществили обработку экспериментальных данных для диапазона значений числа Фурье  $0,16 \dots 0,30$ .

Безразмерную температуру определяли по формуле (5) для двух различных значений фиксированной температуры (160 и 100 °С), чтобы установить необходимо ли на втором этапе тепловой обработки задавать новые граничные условия. Зависимости изменения безразмерной температуры от числа Фурье представлены на рис. 3.



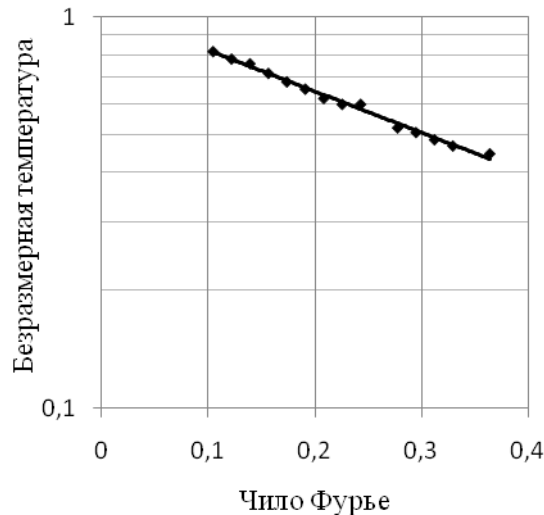
**Рис. 3.** Изменение безразмерной температуры в теле от числа Фурье для центра образца из мясного фарша в полулогарифмических координатах

**Fig. 3.** Changes in the dimensionless temperature in the body in terms of the Fourier number for the center of the sample of minced meat in semilogarithmical coordinates

Из рис. 3 видно, что графики зависимости безразмерной температуры от числа Фурье при граничных условиях первого рода ( $t_{ж}=100$  °С) и граничных условиях третьего рода ( $t_{ж}=160$  °С) изображаются прямыми линиями, что соответствует регулярному режиму нестационарной теплопроводности.

Зависимости изменения безразмерной температуры от числа Фурье (рис. 3) показывают, что переход к регулярному режиму теплопроводности практически происходит при значении числа Фурье больше 0,16.

Зависимость безразмерной температуры от числа Фурье для центра образца из глины обыкновенной показана на рис.4.



**Рис. 4.** Изменение безразмерной температуры в теле от числа Фурье для центра образца из глины обыкновенной ( $t_{ж}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в полулогарифмических координатах

**Fig. 4.** Changes in dimensionless temperature in the body in terms of the Fourier number for the center of the sample of clay ( $t_{ж}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in semi-logarithmical coordinates

Из рис. 4 видно, что при тепловой обработке тела из влажной глины при значении числа Фурье более 0,10 также практически происходит переход к регулярному режиму теплопроводности.

Критериальные уравнения изменения безразмерной температуры в центре и во внутреннем слое изделий от числа Фурье позволяют рассчитать изменения температуры в центре исследуемых изделий цилиндрической формы различных размеров при регулярном режиме нестационарной теплопроводности.

При обработке экспериментальных данных получили критериальные уравнения изменения безразмерной температуры изделия с соотношением длины к диаметру 5–7 при регулярном режиме, которые имеют вид:

для центра изделия из мясного фарша при граничных условиях первого рода  $t_{ж}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Theta = 1,53 \exp(-6,46Fo), \quad (6)$$

для центра изделия из мясного фарша при граничных условиях третьего рода  $t_{ж}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Theta = 1,05 \exp(-2,23Fo), \quad (7)$$

для центра образца из влажной глины при граничных условиях третьего рода  $t_{ж}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Theta = 1,05 \exp(-2,45Fo). \quad (8)$$

В критериальном уравнении вида (6–8) степень при экспоненте представляет собой квадрат первого корня характеристического уравнения  $\mu_1$ . Для полученного уравнения (6) значение этого корня будет равно  $\mu_1=\sqrt{6,46}=2,54$ . Табличные значения этого корня при  $Bi=\infty$  равны для бесконечного цилиндра  $\mu_1=2,4048$  [7, 4]. Полученное значение близко совпадает с табличным, что подтверждает предположения о граничных условиях и о выборе предельной температуры  $t_{ж}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для уравнения (7) значение корня характеристического уравнения будет равно  $\mu_1=\sqrt{2,23}=1,49$  и для уравнения (8) –  $\mu_1=\sqrt{2,45}=1,57$ , полученные значение находятся далеко от табличного.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что влажная глина, увлажненные сосновые опилки или их смеси не могут быть использованы в качестве модельного тела для экспериментальных исследований по тепловой обработке мясных изделий. Отличительной особенностью изменения температурного поля в образце из влажных опилок является то, что температурные кривые выходят на горизонтальный участок не при температуре насыщения водяного пара (100 °С), а значительно раньше (примерно 70 °С). Значение корня характеристического уравнения для образца из влажной глины имеет значительные расхождения с табличным при граничных условиях первого рода.

Установлено, что теория регулярного режима теплопроводности применима при изучении нагревания влажных тел, т.к. полученное значение корня характеристического уравнения  $\mu_1$  близко совпадает с табличным, что подтверждает предположения о граничных условиях и о выборе предельной температуры  $t_{ж} = 100$  °С.

Получены критериальные уравнения изменения безразмерной температуры для мясного фарша и влажной глины. Значение корня характеристического уравнения близко к табличному для изделий из мясного фарша при граничных условиях первого рода.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пелеев, А. И. Тепловое оборудование колбасного производства / А.И. Пелеев, А.М. Бражников, В.А. Гаврилова. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 383 с.
- 2 Тышкевич, А.С. Исследование физических свойств мяса. / А.С. Тышкевич. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 96 с.
- 3 Бражников, А. М. Теория термической обработки мясопродуктов / А.М. Бражников. – М.: Агропромиздат, 1987. – 271 с.
- 4 Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
- 5 Михайлов, Ю. А. Тепло- и массоперенос. / Ю.А. Михайлов. – М.: Энергия, 1972. – 200 с.
- 6 Кэйс, В. М. Конвективный тепло- и массообмен. / В.М. Кэйс– М.: Энергия, 1972. – 448 с.
- 7 Исаченко, В. П. Теплопередача. Учебник для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
- 8 Беляев, Н. М. Методы нестационарной теплопроводности. Учеб. пособие для вузов. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно. – М.: Высш. школа, 1978. – 328 с.
- 9 Чубик, И. А. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов и полуфабрикатов / И.А. Чубик, А.М. Маслов. – М.: Пищевая промышленность, 1965. – 156 с.
- 10 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.
- 11 Вороненко, Б. А. Аналитическое решение задачи тепломассопереноса в колбасных изделиях при их тепловой обработке / Б.А. Вороненко, В.В. Пеленко, В.В. Стариков // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 102–104.
- 12 Карпов, В. В. Исследование процесса термической обработки колбас с целью оптимизации. Автореферат кандидатской диссертации / В.В. Карпов. – М.: МТИММП, 1981. – 46 с.
- 13 Горбатов, В. М. Совершенствование тепловой обработки мясных продуктов / В.А. Горбатов, С.А. Александров, Л.А. Царя // Мясная индустрия СССР. – 1986. – № 7. – С. 27–28.
- 14 Косой, В. Д. Совершенствование производства колбас: учебное пособие / В.Д. Косой, В.П. Дорохов. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 766 с.
- 15 Желудков, А. Л. Измельчение мяса кур механической обвалки в куттерах ножами с ломанной режущей кромкой: дисс... канд. техн. наук:05.18.12 / А.Л. Желудков; Могилев., 2013. – 158 с.
- 16 Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник/ Е.В. Аметистов [и др.]; под общ.ред. Е.А. Григорьева. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

*Поступила в редакцию 15.05.2019 г.*

---

**ОБ АВТОРАХ**

**Аркадий Арсентьевич Смоляк**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплохладотехники, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: tpopm@mgup.by

**Марина Николаевна Смагина**, аспирант кафедры теплохладотехники, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: m-a-r-i-s-h-a88@mail.ru

**Денис Алексеевич Смагин**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: denis\_smagin@mail.ru.

**ABOUT AUTHORS:**

**Arkady A. Smolyak**, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Heat and Refrigerating Engineering, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: tpopm@mgup.by

**Marina N. Smagina**, post-graduate student of the Department of Heat and Refrigerating Engineering, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: m-a-r-i-s-h-a88@mail.ru

**Denis A. Smagin**, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus of Food Production, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: denis\_smagin@mail.ru