

Расчет продолжительности процесса термовлажностной обработки полуфабрикатов на основе животного и растительного сырья

Людмила Э. Глаголева	¹	milaprofi@mail.ru
Наталья П. Зацепилина	¹	nataha.zatsepilina@yandex.ru
Максим В. Копылов	¹	kopylov-maks@yandex.ru
Ирина В. Нестеренко	¹	

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Расчет параметров термообработки исследуемых систем (продолжительность процесса, распределение температуры внутри изделия и изменение его массы) осложнен как внешним, так и внутренним переносом влаги. В связи с этим строгое математическое описание влаго- и теплообмена между поверхностью полуфабриката, который необходимо рассматривать как капиллярно-пористое тело, и окружающей средой должно основываться на совместном решении уравнений гидродинамики и конвективного тепло- и массопереноса с учетом нормальной составляющей массового потока на поверхности тела, что усложняет задачу. Рассмотрение такой задачи в части, касающейся переноса влаги под действием градиентов влагосодержания, температуры и давления возможно, если движущими силами процессов переноса считать не эти градиенты потенциалов на поверхности капиллярнопористого тела, а разности между потенциалами, усредненными по поверхности и объему тела. Успешное применение этой теории для широкого использования при решении практических задач осложняется отсутствием систематизированной базы данных по гидро- и гигроскопическому равновесию обрабатываемых полуфабрикатов с технологическими средами. С другой стороны, даже при наличии экспериментальных данных по гидро- и гигроскопическому равновесию в этом случае находятся не поля потенциалов переноса, а только их среднееобъемные и среднеповерхностные значения, что принципиально не позволяет рассчитать длительность термообработки как время достижения необходимой температуры в центре продукта. Мясные и рыбные продукты обрабатываются при не слишком высоких температурах и вследствие этого градиенты потенциалов переноса внутри капиллярнопористых тел не слишком велики, поэтому можно считать, что внутренний перенос влаги существенно не изменяет температурное поле внутри мясных и рыбных изделий. Обоснованы ресурсосберегающие режимы термо-влажностной обработки комбинированных изделий: обжаривание при $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, без увлажнения, продолжительность 5 мин; запекание при $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, расход воды на увлажнение $(4,0\text{--}4,3)10^{-6}\text{ м}^3/\text{с}$ продолжительность 10–15 мин, обеспечивающие снижение технологических потерь массы готового продукта с 18% до 5–7%.

Ключевые слова: термо-влажностная обработка, животное сырье, растительное сырье, параметры термообработки

Calculation of the process duration of thermo-moisture treatment of semi-finished products based on animal and vegetable raw materials

Lyudmila E. Glagoleva	¹	milaprofi@mail.ru
Natal'ya P. Zatsepilina	¹	nataha.zatsepilina@yandex.ru
Maksim V. Kopylov	¹	kopylov-maks@yandex.ru
Irina V. Nesterenko	¹	

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. Calculation of the parameters of studied systems heat treatment (the process duration, temperature distribution inside the product and in its mass change) is complicated both by external and internal moisture transfer. In this regard, a strict mathematical description of moisture and heat transfer between the surface of the semi-finished product, which must be considered as a capillary-porous body, and the surrounding medium should be based on a joint solution of hydrodynamics equations and convective heat- and mass transfer, taking into account the normal component of the mass flow on the body surface, which complicates the task. Consideration of such a task with regard to moisture transfer under the action of water content gradients, temperature and pressure is possible if the driving forces of transfer processes do not consider these potential gradients on the surface of a capillary-porous body, but the differences between potentials averaged over the surface and volume of the body. This theory successful application for widespread use in practical problems solving is complicated by the absence of a systematized database on the hygro- and hydro-mechanical equilibrium of treated semi-finished products with technological media. On the other hand, even in the presence of experimental data on hydro- and hygrosopic equilibrium, in this case there are not fields of transfer potentials, but only their average volume and mean surface values, which in principle does not allow calculating of heat treatment duration as the time to reach the required temperature in the middle of the product. Meat and fish products are treated at not too high temperatures and as a result gradients of transfer potentials inside capillary-porous bodies are not too great, therefore it can be considered that the internal moisture transfer does not change the temperature field inside meat and fish products significantly. Resource-saving modes of thermo-moisture treatment of combined products were justified: frying at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, without humidification, duration - 5 min; baking at $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, water consumption for humidification $(4.0\text{--}4.3)10^{-6}\text{ m}^3/\text{s}$ with 10-15 minutes duration, providing a reduction in process losses of the finished product weight from 18% to 5-7%.

Keywords: thermo-moisture treatment, animal raw materials, vegetable raw materials, heat treatment parameters

Для цитирования

Глаголева Л.Э., Зацепилина Н.П., Копылов М.В., Нестеренко И.В. Расчет продолжительности процесса термовлажностной обработки полуфабрикатов на основе животного и растительного сырья // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 51–57. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-51-57

For citation

Glagoleva L.E., Zacepilina N.P., Kopylov M.V., Nesterenko I.V. Calculation of the process duration of thermo-moisture treatment of semi-finished products based on animal and vegetable raw materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 51–57. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-51-57

Введение

Цель работы – исследовать влияние технологических режимов на процессы тепло- и массообмена при тепловой обработке изделий, обосновать ресурсосберегающие режимы тепловой и низкотемпературной обработки полуфабрикатов и готовых изделий на основе рыбно-печеночно-растительных композиций.

Расчет параметров термообработки исследуемых систем (продолжительность процесса, распределение температуры внутри изделия и изменение его массы) осложнен как внешним, так и внутренним переносом влаги. В связи с этим строгое математическое описание влаго- и теплообмена между поверхностью полуфабриката, который необходимо рассматривать как капиллярно-пористое тело, и окружающей средой должно основываться на совместном решении уравнений гидродинамики и конвективного тепло- и массопереноса с учетом нормальной составляющей массового потока на поверхности тела, что усложняет задачу [1–4]. Тем не менее, рассмотрение такой задачи в части, касающейся переноса влаги под действием градиентов влагосодержания, температуры и давления возможно, если движущими силами процессов переноса считать не эти градиенты потенциалов на поверхности капиллярнопористого тела, а разности между потенциалами, усредненными по поверхности и объему тела.

Успешное применение этой теории для широкого использования при решении практических задач осложняется отсутствием систематизированной базы данных по гидро- и гигроскопическому равновесию обрабатываемых полуфабрикатов с технологическими средами. С другой стороны, даже при наличии экспериментальных данных по гидро- и гигроскопическому равновесию в этом случае находятся не поля потенциалов переноса, а только их среднеобъемные и среднеповерхностные значения, что принципиально не позволяет рассчитать длительность термообработки как время достижения необходимой температуры в центре продукта [5, 6].

Результаты и обсуждение

Мясные и рыбные продукты обрабатываются при не слишком высоких температурах и вследствие этого градиенты потенциалов переноса внутри капиллярнопористых тел не слишком велики, поэтому можно считать, что внутренний перенос влаги существенно не изменяет температурное поле внутри мясных и рыбных изделий. В связи с этим, для определения времени достижения кулинарной готовности полуфабрикатов целесообразно рассматривать не сопряженную систему уравнений

переноса количества движения, теплоты и массы, а только нестационарное уравнение теплопроводности, которое в декартовой системе координат имеет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где τ – время, с; a – температуропроводность продукта, $\text{м}^2/\text{с}$; t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Решая уравнение (1) с соответствующими начальными и граничными условиями можно найти распределение температуры от времени в теле произвольной формы, причем в общем случае это возможно лишь использованием численных методов.

Для тел простейшей формы (неограниченная пластина и цилиндр, шар) уравнение (1) становится одномерным

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{1}{x^n} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^n \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (2)$$

где n – индекс формы (0 – пластина; 1 – цилиндр; 2 – шар) и может быть решено аналитически.

В [3, 4] предполагается, что температурные возмущения в обрабатываемом изделии распространяются с конечной скоростью, что характерно для мясных и рыбных продуктов, а производная по времени в уравнении (2) для области, где за счет взаимодействия с окружающей средой происходит изменение температуры, заменяется ее средним значением по переменной во времени подлине возмущенной области. При этом уравнение (2) превращается в обыкновенное дифференциальное уравнение, для которого ищется решение задачи распространения теплоты в исследуемых системах.

Замена производной в уравнении (2) ухудшает точность описания температурного поля внутри изделий. Кроме того, следует отметить, что при термической обработке пищевых полуфабрикатов сложно учитывать происходящие при этом различные физико-химические превращения (тепловая денатурация белковых веществ, разваривание и дезагрегация коллагена, изменение состояния и свойств жиров, разваривание и клейстеризация крахмалов, изменение структурно-механических свойств), которые вызывают изменение теплофизических характеристик объектов исследования. Если учесть, что справочные данные по их температурным зависимостям весьма ограничены [6, 7], а уравнения конвективного теплопереноса обычно позволяют определить характеристики теплообмена между телом и окружающей средой с точностью порядка 20% [1, 2, 9], использование классического уравнения нестационарной теплопроводности (2),

в котором скорость распространения теплоты предполагается бесконечно большой, для расчета продолжительности термообработки рыбно-печеночно-растительных полуфабрикатов можно считать достаточно обоснованным. Как показывает практика инженерных расчетов аналитические зависимости из [3, 6, 8], выведенные для различных начальных и граничных условий, позволяют получить результаты, вполне согласующиеся с вычислениями времени достижения кулинарной готовности продуктов по формулам из [4, 5]. К тому же геометрия подвергаемых термообработке изделий, в которых можно аналитически определить распределение температуры, в данном случае может быть расширена за счет того, что кроме тел в виде неограниченных цилиндра, пластины и шара, можно рассматривать тела конечных размеров, получающиеся при пересечении приведенных выше тел простейшей формы.

С учетом сказанного рассчитаем время достижения кулинарной готовности, то есть достижения температуры 80°C в центре изделий, при их термообработке в печи с вынужденной конвекцией и увлажнением теплоносителя. Будем рассматривать биточки как тело в виде ограниченного цилиндра, получающегося при пересечении неограниченного цилиндра диаметром $2R$ и неограниченной пластины высотой $2h$.

Для выбора расчетной формулы необходимо обосновать вид граничных условий. В связи с этим необходимо учесть, что после разогрева и подачи воды в рабочей камере аппарата образуется содержащая водяной пар и аэрозольные частицы воды среда, при взаимодействии которой с обрабатываемым изделием происходит интенсивный теплообмен, сопровождающийся конденсацией пара и осаждением аэрозольных частиц на поверхности изделий. В этом случае коэффициенты теплоотдачи между изделием и окружающей средой достаточно велики и, следовательно, можно предположить, что на поверхности биточков реализуются граничные условия первого рода, то есть температура поверхности изделия совпадает с температурой окружающей среды t_c . Кроме того, будем считать, что начальная температура изделия одинакова по всему его объему и равна t_0 . Нахождение температурного поля тела в виде цилиндра конечных размеров связано с решением дифференциального уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial t(r, z, \tau)}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t(r, z, \tau)}{\partial r^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{r} \frac{\partial t(r, z, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 t(r, z, \tau)}{\partial z^2} \right], \quad (3)$$

$$(\tau > 0; 0 < r < R; -h < z < +h)$$

при начальном условии

$$t(r, z, 0) = t_0 = \text{const} \quad (4)$$

и при граничных условиях

$$t(r, \pm h, \tau) = t_c; \quad t(R, z, \tau) = t_c \quad (5)$$

Решение сформулированной задачи в безразмерном виде $\theta(r, z, \tau)$ таково:

$$\theta(r, z, \tau) = \theta(r, \tau) \cdot \theta(z, \tau), \quad (6)$$

где $\theta(r, \tau) = (t_c - t(r, \tau)) / (t_c - t_0)$ – решение для неограниченного цилиндра, а $\theta(z, \tau) = (t_c - t(z, \tau)) / (t_c - t_0)$ – решение для неограниченной пластины, пересечением которой с неограниченным цилиндром образован конечный цилиндр. В этом случае начальные и граничные условия остаются прежними, то есть

$$t(r, 0) = t(z, 0) = t_0 = \text{const}, \quad (7)$$

$$t(R, \tau) = t(\pm h, \tau) = t_c = \text{const}, \quad (8)$$

а решение поставленной задачи определяется выражением:

$$\theta(r, z, \tau) = \frac{t_c - t(r, z, \tau)}{t_c - t_0} =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_m \frac{z}{h} \right) \times$$

$$\times \exp \left\{ - \left[\mu_n^2 + \left(\mu_m \frac{R}{h} \right)^2 \right] Fo \right\}, \quad (9)$$

где $A_n = \frac{2}{\mu_n J_1(\mu_n)}$, μ_n – корни характеристического уравнения $J_0(\mu_n) = 0$, $J_0(\mu_n)$ и $J_1(\mu_n)$ – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка соответственно,

$$\mu_m = (2m-1) \frac{\pi}{2}, \quad Fo = \frac{a\tau}{R^2}.$$

При этом среднюю температуру биточков, необходимую для определения их теплофизических характеристик, можно найти по формуле

$$\theta_{\text{ср}} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_n B_m \cdot \exp \left\{ - \left[\mu_n^2 + \left(\mu_m \frac{R}{h} \right)^2 \right] Fo \right\}, \quad (10)$$

$$\text{где } B_n = \frac{4}{\mu_n^2}, \quad B_m = \frac{2}{\mu_m^2}.$$

Переход от безразмерной температуры к размерной осуществляется по выражению

$$t(r, z, \tau) = t_c - \theta(r, z, \tau) \cdot (t_c - t_0). \quad (11)$$

Результаты вычислений температуры в центре изделий и их средней температуры при различных условиях термообработки в конвектомате приведены в приложении и на рисунке 1, где для сравнения также представлены результаты экспериментального исследования времени достижения кулинарной готовности рыбно-печеночно-растительных биточков. В этих опытах использовали изделия массой около 52 г., содержащие по 36,4% говяжьей печени и филе зубатки, 13% геркулеса 10% воды и 4,5% соли. В биточки (изделия приплюснуто-цилиндрической формы) диаметром около 6 см и высотой около 2 см с помощью специального приспособления вводили термодатчик и затем помещали в разогретый пароконвектомат с определенными температурой и подачей воды. После достижения заданного времени фиксировали температуру в центре продукта и вынимали его из конвектомата для контроля положения термодатчика и массы изделия.

Как показывают результаты расчетов изменения температуры в центре рыбно-печеночно-растительных биточков, рассматриваемых как цилиндры конечных размеров, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Без подачи воды теплообмен между изделием и окружающей средой, имеющей постоянную температуру, осуществляется по конвективному механизму и можно считать, что на поверхности биточков будут реализовываться граничные условия третьего рода.

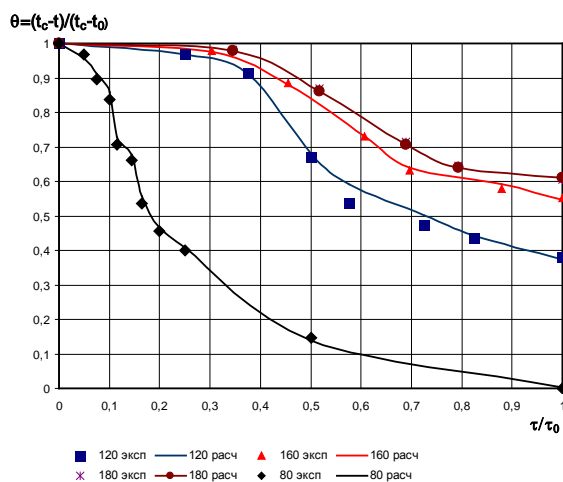


Рисунок 1. Изменение температуры в центре рыбно-печеночных биточков от времени

Figure 1. Change in temperature in the center of fish-liver cells from time

Распределение температуры внутри цилиндра конечных размеров при условии симметричности задачи найдется из решения системы уравнений (3)–(4) и (12)–(15):

$$-\frac{\partial t(R, z, \tau)}{\partial r} + \frac{\alpha}{\lambda_T} [t_c - t(R, z, \tau)] = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial t(0, z, \tau)}{\partial r} = 0; t(0, z, \tau) \neq \infty, \quad (13)$$

$$-\frac{\partial t(r, h, \tau)}{\partial z} + \frac{\alpha}{\lambda_T} [t_c - t(r, h, \tau)] = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial t(r, 0, \tau)}{\partial z} = 0, \quad (15)$$

где λ_T – теплопроводность комбинированных рубленых систем, Вт/(м К); α – осредненный по поверхности коэффициент теплоотдачи цилиндрического тела конечных размеров, Вт/(м²·К).

Начало координат находится в центре цилиндра.

Как и ранее решение сформулированной задачи в безразмерном виде определится уравнением (6). Начальные условия определяются уравнением (7), а граничные условия для неограниченных цилиндра и пластины остаются такими же, как и для цилиндра конечных размеров, то есть

$$-\frac{\partial t(R, \tau)}{\partial r} + \frac{\alpha}{\lambda_T} [t_c - t(R, \tau)] = 0, \quad (16)$$

$$-\frac{\partial t(h, \tau)}{\partial z} + \frac{\alpha}{\lambda_T} [t_c - t(h, \tau)] = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial z} = 0 \quad (18)$$

Расчетное соотношение для нахождения поля температуры внутри ограниченного цилиндра имеет вид:

$$\begin{aligned} \theta(r, z, \tau) &= \frac{t_c - t(r, z, \tau)}{t_c - t_0} = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} A_k A_l J_0 \left(\mu_k \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_l \frac{z}{h} \right) \times \\ &\times \exp \left\{ - \left[\mu_k^2 + \left(\mu_l \frac{R}{h} \right)^2 \right] Fo \right\}, \end{aligned} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} A_k &= \frac{2Bi_1}{J_0(\mu_k) [\mu_k^2 + Bi_1^2]}, \\ A_l &= (-1)^{l+1} \frac{2Bi_2 \sqrt{Bi_2^2 + \mu_l^2}}{\mu_l (Bi_2^2 + Bi_2 + \mu_l^2)}. \end{aligned}$$

Здесь μ_k и μ_l – корни характеристических уравнений: $\frac{J_0(\mu_k)}{J_1(\mu_k)} = \frac{\mu_k}{Bi_1}$; $ctg \mu_l = \frac{\mu_l}{Bi_2}$; $Bi_1 = \frac{\alpha R}{\lambda_r}$ и $Bi_2 = \frac{\alpha h}{\lambda_r}$ – числа Био для неограниченных цилиндра и пластины соответственно.

Осредненный по поверхности биточков коэффициент теплоотдачи находится из соотношения:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2}{F_1 + F_2}, \quad (20)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи от боковой и торцевой поверхности цилиндра, площади которых равны соответственно F_1 и F_2 .

Коэффициент теплоотдачи от торцевой поверхности цилиндра рассчитывается как для случая теплообмена при обтекании плоской поверхности длиной $2R$. Для $Re < 5 \cdot 10^5$ расчетное соотношение имеет вид [4, 5]:

$$Nu_1 = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3}, \quad (21)$$

где $Nu_1 = \frac{\alpha_1 \cdot 2R}{\lambda}$; $Pr = \frac{\nu \rho c}{\lambda}$; $Re = u \cdot 2R / \nu$
 λ , ν , ρc – теплопроводность Вт/(м К), кинематическая вязкость, м²/с, и объемная теплоемкость влажного воздуха, Дж/(м³ К); u – скорость обтекания биточков влажным воздухом, м/с.

Коэффициент теплоотдачи от боковой поверхности цилиндра для $10^3 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$ определяется по формуле:

$$Nu_2 = 0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38}, \quad (22)$$

где $Nu_2 = \frac{\alpha_2 \cdot 2R}{\lambda}$.

Для влажного воздуха, который является бинарной смесью водяного пара и сухого воздуха, приближенное значение коэффициента теплопроводности определяется по правилу аддитивности согласно [4, 10]:

$$\lambda = \frac{\lambda_f x + \lambda_{\bar{N}\bar{A}} \frac{M_f}{M_{\bar{N}\bar{A}}}}{x + \frac{M_f}{M_{\bar{N}\bar{A}}}}, \quad (23)$$

где теплопроводность водяного пара и сухого воздуха рассчитываются соответственно по следующим соотношениям:

$$\lambda_f = \frac{0,0595 \cdot t^{0,5}}{1 + \frac{2,46}{t}}, \quad (24)$$

$$\lambda_{\bar{N}\bar{A}} = \frac{0,0347 \cdot t^{0,5}}{1 + \frac{0,454}{t}}. \quad (25)$$

Здесь $M_f = 18,016$ кг/кмоль, $M_{\bar{N}\bar{A}} = 28,96$ кг/кмоль – молярные массы водяного пара и сухого воздуха соответственно; $t = T/T_0$; T – температура рабочей среды в конвектомате, К; $T_0 = 273,15$ К; X – влагосодержание паровоздушной смеси, которое находится через заданную относительную влажность воздуха ϕ по формуле [4, 11]:

$$x = \frac{\phi \frac{M_f}{M_{\bar{N}\bar{A}}}}{(p/p_t) t^A \exp[-B(1-t^{-1}) + C(1-t)] - \phi}, \quad (26)$$

Численные значения коэффициентов A , B , C , согласно [4, 5], равны $A = 9,248$; $B = 27,098$; $C = 2,005$; $p = 101325$ Па – давление в камере конвектомата, которое примем равным атмосферному давлению; $p_t = 610,8$ Па – давление насыщенных паров воды при $T_0 = 273,15$ К.

Плотность влажного воздуха рассчитывается по зависимости из [7, 4]:

$$\rho = \rho_f (x+1) / (x + M_f / M_{\bar{N}\bar{A}}), \quad (27)$$

где плотность водяного пара ρ_f можно найти из уравнения состояния

$$\rho_f = \frac{M_f p}{RT}, \quad (28)$$

$R = 8314$ Дж/(кмоль К) – универсальная газовая постоянная.

Объемная теплоемкость среды определяется по формуле из [5]:

$$\rho c = \rho_f c_f (x + c_{\bar{N}\bar{A}} / \tilde{n}_f) / (x + M_f / M_{\bar{N}\bar{A}}), \quad (29)$$

где изобарные теплоемкости водяного пара и воздуха равны соответственно при 80 °С $\tilde{n}_f = 1873$ Дж / (кг К), $\tilde{n}_{\bar{N}\bar{A}} = 1006$ Дж / (кг К), а при 120 °С $\tilde{n}_f = 1894$ Дж / (кг К), $\tilde{n}_{\bar{N}\bar{A}} = 1012$ Дж/(кг К) [9].

Заключение

На основе исследований процессов тепло- и массообмена при тепловой обработке комбинированных рыбно-печеночно-растительных систем обоснованы ресурсосберегающие режимы термо-влажностной обработки комбинированных изделий: обжаривание при $t = 200$ °С, без увлажнения, продолжительность 5 мин; запекание при 180 °С, расход воды на увлажнение $(4,0-4,3) \cdot 10^{-6}$ м³/с, продолжительность 10 – 15 минут, обеспечивающие снижение технологических потерь массы готового продукта с 18% до 5–7%.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Родионова Н.С., Попов Е.С., Бахтина Т.И., Погребная Д.А. Исследование влияния режимов термовлажностной обработки на сенсорные и биохимические показатели полуфабрикатов из гидробионтов // Вестник ВГУИТ. 2013. №1. С. 177-181.
- 2 Родионова Н.С., Гачев Л., Попов Е.С., Бахтина Т.И. Исследование процесса тепловой обработки предварительно вакуумированных пищевых систем на основе растительного и животного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-2. С. 288-293.
- 3 Сычева О.В., Скорбина Е.А., Трубина И.А., Измайлова С.А. и др. Использование продуктов переработки растительного сырья в технологии мясных полуфабрикатов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания. 2017. №4 (18). С. 43-48.
- 4 Шугурова Т.Б. Инновации в термообработке полуфабрикатов // Мясные технологии. 2011. № 2 (98). С. 10-11.
- 5 Вороненко Б.А., Кобылянский И.Г., Цуранов О.А. Математическое моделирование процесса теплопереноса в объеме замороженного продукта в условиях хранения в торговом холодильном оборудовании // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 2 (32). С. 45-48.
- 6 Верболоз Е.И., Романчиков С.А. Особенности низкотемпературной тепловой обработки мясопродуктов в пароконвектомате с наложением ультразвуковых колебаний // Вестник ВГУИТ. 2017. №3 (73). С. 35-41.
- 7 Peshuk L.V., Ivanova T.M. Analysis of thermal treatment methods on quality indicators for special meat products // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2015. V. 17. № 4 (64). Р. 96-100.
- 8 Беляева М.А. Оптимизация пищевой и биологической ценности мясных полуфабрикатов в процессе тепловой обработки с целью обеспечения населения качественными продуктами питания. М.: Русайнс, 2017. 342 с.
- 9 Гайсин И.А., Ибрафиллов И.Х., Галиакбаров А.Т. Тепловая обработка пищевых продуктов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 1-1. С. 36-38.
- 10 Бекишева Г.Б., Токаев С.Д. Методы тепловой обработки мясных консервов // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2016. № 1. С. 56.
- 11 Баранец С.Ю., Куракин М.С., Костина Н.Г., Мотырева О.Г. и др. Влияние способов технологической обработки сырья животного происхождения на потребительские свойства готовой продукции // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 1 (36). С. 5-11.

REFERENCES

- 1 Rodionova N.S., Popov E.S., Bakhtina T.I., Pogrebnaaya D.A. Study of the influence hygrothermal

treatment regimes on sensory and biochemical parameters of the semi-aquatic. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] 2013. no.1. pp. 177-181. (in Russian).

- 2 Rodionova N.S., Gacheu L., Popov E.S., Bakhtina T.I. Investigation of the process of heat treatment of previously evacuated food systems based on plant and animal raw materials. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research] 2013. no. 10-2. pp. 288-293. (in Russian)

- 3 Sycheva O.V., Skorбина E.A., Trubina I.A., Izmaylova S.A. Use of products of processing of vegetative raw materials in technology of meat semifinished products. *Tekhnologii pishchevoi I pererabatyvayushchei promyshlennosti* [Technologies of food and processing industry of AIC - healthy food products] 2017. no. 4 (18). pp. 43-48. (in Russian)

- 4 Shugurova T.B. Innovations in heat treatment of semi-finished products. *Myasnye tekhnologii* [Meat technologies] 2011. no. 2 (98). pp. 10-11. (in Russian)

- 5 Voronenko B.A., Kobylansky I.G., Tsuranov O.A. Mathematical modeling of the heat transfer process in the volume of the frozen product under storage conditions in commercial refrigeration equipment. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [Technological and technological problems of service] 2015. no. 2 (32). pp. 45-48. (in Russian)

- 6 Vерболоз E.I., Romanchikov S.A. Features of low-temperature heat treatment of meat products in a combi steamer with superposition of ultrasonic oscillations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] 2017. no. 3 (73). pp. 35-41. (in Russian)

- 7 Peshuk L.V., Ivanova T.M. Analysis of thermal treatment methods for special indicators for special meat products. Scientific herald of Lviv National University of veterinary medicine of biotechnology named after S.Z. Zhytsky. 2015. vol. 17. no. 4 (64). pp. 96-100.

- 8 Belyaeva M.A. Optimizatsiya pishchevoi I biologicheskoi tsennosti myasnykh polufabrikatov [Optimization of food and biological value of meat semifinished products in the process of heat treatment in order to provide the population with quality food products] Moscow, Rusains, 2017. 342 p. (in Russian)

- 9 Gaisin I.A., Israfilov I.Kh., Galiakbarov A.T. Heat treatment of food products. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki I tekhnologii* [Modern trends in the development of science and technology] 2017. no. 1-1. pp. 36-38. (in Russian)

- 10 Bekisheva G.B., Tokaev S.D. Methods of heat treatment of canned meat. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya pamyati V.M. Gorbatov* [International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbatov] 2016. no. 1. pp. 56. (in Russian)

- 11 Baranets S.Yu., Kurakin M.S., Kostina N.G., Motyрева O.G. et al. Influence of methods of technological processing of raw materials of animal origin on consumer properties of finished products. *Tekhnika I tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and Technology of Food Production] 2015. no. 1 (36). pp. 5-11. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyudmila E. Glagoleva Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Tourism and Hotel Management, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, milaprofi@mail.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила Э. Глаголева д.т.н., профессор, кафедра туризма и гостиничного, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, milaprofi@mail.ru

Наталья П. Зацепилина к.т.н., доцент, кафедра туризма и гостиничного, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataha.zatsepilina@yandex.ru

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@yandex.ru

Ирина В. Нестеренко магистрант, кафедра туризма и гостиничного дела, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 16.04.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.05.2018

Natal'ya P. Zatsepilina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Tourism and Hotel Management, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataha.zatsepilina@yandex.ru

Maksim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Tourism and Hotel Management, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@yandex.ru

Irina V. Nesterenko master student, Department of Tourism and Hotel Management, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

CONTRIBUTION

all authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.16.2018

ACCEPTED 5.11.2018