

Моделирование процессов обезвоживания провесной и вяленой рыбы

Михаил А. Ершов	1	eshovma@mstu.edu.ru	 0000-0002-5072-2322
Александр М. Ершов	1	maershov@ya.ru	 0000-0001-9854-2868
Евгений В. Лыжин	1	evlyzhin@mail.ru	 0000-0002-5869-2180
Владимир А. Гроховский	1	v.grokhosky@mail.ru	 0000-0002-1892-0257
Жанна Г. Димова	2	dimowa.zhanna2014@gmail.com	 0000-0003-1197-1286

1 Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия

2 Московский государственный строительный университет, Ярославское ш., 26, Москва, 129337, Россия

Аннотация. В исследовании рассмотрены проблемы развития рыбохозяйственного комплекса в Мурманской области. Отмечено, что доля мороженой рыбы в объеме производства пищевой продукции из гидробионтов составляет около 90%. Приоритетными направлениями для отечественного рыбохозяйственного комплекса являются увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью и развитие внутреннего рынка потребления рыбной продукции. Установлено, что провесная и вяленая рыбная продукция с заданными органолептическими свойствами традиционно пользуется устойчивым спросом у населения. Однако, ассортимент вяленой и провесной продукции представлен для покупателей недостаточно широко, а доля провесной и вяленой рыбы в общем объеме пищевой продукции из гидробионтов крайне мала. Эффективностью производства вяленой, провесной рыбы можно повысить, если использовать научно обоснованные технологические подходы, позволяющие снизить производственные затраты и улучшить потребительские свойства готовой продукции. В работе затронуты аспекты обобщения процессов обезвоживания при производстве вяленой, провесной, копченой рыбы. Установлена взаимосвязь между начальной, критической влажностью рыбы и коэффициентами потенциалопроводности массопереноса. В математическом виде получена зависимость для расчета продолжительности и моделирования кинетики процессов сушки при производстве вяленой и провесной рыбы. Получены уравнения для расчета коэффициентов диффузии воды в критических точках кривой кинетики. Совместное использование полученных закономерностей позволяет моделировать процессы обезвоживания при выпуске вяленой и провесной рыбной продукции, рассчитывать время сушки, расчетным путем находить коэффициенты диффузии влаги и строить зависимости распределения воды в толще объекта обработки.

Ключевые слова: вяленая рыба, коэффициент, диффузия влаги, моделирование, процессы обезвоживания

Modeling of mass transfer processes during dehydration of air-dried fish

Mikhail A. Ershov	1	eshovma@mstu.edu.ru	 0000-0002-5072-2322
Alexander M. Ershov	1	maershov@ya.ru	 0000-0001-9854-2868
Evgenij V. Lyzhin	1	evlyzhin@mail.ru	 0000-0002-5869-2180
Vladimir A. Grohovskiy	1	v.grokhosky@mail.ru	 0000-0002-1892-0257
Zhanna G. Dimova	2	dimowa.zhanna2014@gmail.com	 0000-0003-1197-1286

1 Murmansk State Technical University, st. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia

2 Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl'skoe rd., 26, Moscow, 129337, Russia

Abstract. The study addresses the problems of the Fisheries industry development in the Murmansk region. It has been acknowledged that the percentage of the frozen fish in the output of hydrobionts food products is about 90 %. The focus areas for the Russian Fisheries industry are the increasing share of products with high added value and the development of the domestic consumer market of fishery products. It has been found that the air-dried and dried fish products with defined organoleptic properties is traditionally in strong demand with the population. However, the range of air-dried and dried fish products available for the consumers is rather limited. Moreover, there is a very small part of air-dried and dried fish in the total volume of hydrobionts food products. It is possible to increase the efficiency of air-dried and dried fish production by using the scientific-based process solutions, which allow to reduce the production costs and improve the consumer properties of the finished products. This paper presents the aspects of generalization of the dehydration processes in the production of dried, air-dried and smoked fish. A link between the initial, critical moisture content of fish and the potential conductivity of mass transfer coefficients has been established. A mathematical relation for calculating the duration and modeling the kinetics of drying processes in production of dried and air-dried fish has been determined. The equations for calculating the water diffusion coefficients in the critical points of the kinetics curve have been obtained. The combined use of the received patterns allows to model the dehydration processes when producing the air-dried and dried fish products, calculate the drying time, determine the moisture diffusion coefficients and build dependencies of water distribution in the thickness of the processed object.

Keywords: dried fish, coefficient, moisture diffusion, modeling, dehydration processes

Для цитирования

Ершов М.А., Ершов А.М., Лыжин Е.В., Гроховский В.А., Димова Ж.Г. Моделирование процессов обезвоживания провесной и вяленой рыбы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 55–61. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-55-61

For citation

Ershov M.A., Ershov A.M., Lyzhin E.V., Grohovskiy V.A., Dimova Zh.G. Modeling of mass transfer processes during dehydration of air-dried fish. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 55–61. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-55-61

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Согласно решениям Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству был установлен общий допустимый улов на 2020 год северо-восточной арктической трески в объеме 738 000 тонн, северо-восточной арктической пикши – 215 000 тонн. Для Российской Федерации в 2020 г. национальная квота на вылов трески составила 315277 тонн, для пикши – 92159 тонн. Промышленные квоты на вылов рыбы, требующей технологической обработки для улучшения вкусовых свойств, в Баренцевом море и северо-восточной Атлантике достаточно велики.

На рисунке 1 представлены данные по производству отдельных видов рыбной продукции в Мурманской области в 2020 г. [1].

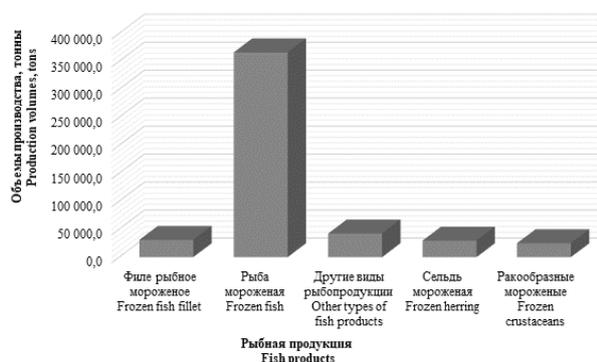


Рисунок 1. Производство рыбной продукции в Мурманской области

Figure 1. Fish production in the Murmansk region

На основании данных Мурманскстата можно сделать вывод, что доля мороженой рыбопродукции в объеме переработанных гидробионтов превышает 90%. Этот показатель указывает на сырьевую направленность рыбоперерабатывающей отрасли в Мурманской области [2].

Увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью и развитие внутреннего рынка потребления рыбной продукции – это приоритетные направления для отечественного рыбохозяйственного комплекса. Низкая покупательская способность населения является причиной недостаточного уровня потребления рыбной продукции в Российской Федерации [2, 3]. Для увеличения среднедушевого потребления рыбы необходимо повысить объемы отечественного производства доступной рыбной продукции не менее, чем на 600 тыс. тонн [2].

Производство вяленой, провесной, копченой рыбной продукции при умеренном содержании соли в готовых изделиях позволяет получать деликатесную продукцию. Данные виды продукции пользуются устойчивым спросом

у населения [4, 5]. Однако производство провесной, вяленой и копченой рыбной продукции остается на невысоком уровне [1]. Эффективность данных производств можно повысить, если использовать научно обоснованные технологические подходы, позволяющие снизить производственные затраты, улучшить потребительские свойства готовой продукции, обеспечить ее безопасность [6, 7, 8, 9].

Технология производства рыбы вяленой, провесной, сушеной, а также холодного и горячего копчения сопровождается рядом тепло – массообменных и биохимических процессов. Эти процессы определяют качество готовой продукции. Существенное влияние на качество готовой продукции оказывают тепло – массообменные процессы, от которых зависят конечные свойства и стоимость произведенного готового продукта. В свою очередь, разработка современного и эффективного оборудования для копчения и вяления рыбы требует более полных сведений о закономерностях тепло- и массопереноса при обработке рыбы [10].

В настоящее время ещё велики затраты труда, энергии и материалов при выпуске деликатесной пищевой рыбной продукции, поэтому решение вопросов механизация технологических процессов, снижение затрат труда, энергии и материалов представляет важную хозяйственную задачу.

Цель работы – разработка обобщенных зависимостей для расчета продолжительности обезвоживания при производстве вяленой, провесной и копченой рыбной продукции.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись коммерческие образцы мороженой рыбной продукции (треска, камбала-ерш, скумбрия, путассу и др.)

Определение массовой доли воды в полуфабрикате и в готовой продукции осуществлялось высушиванием на приборе Чижовой по ГОСТ 7636.

Удельная поверхность рыбы (m^2/kg) определялась, как отношение площади рыбы к ее массе.

Массовая доля хлористого натрия находилась аргентометрическим методом по ГОСТ 7636.

Для построения экспериментальных кривых кинетики обезвоживания определялась влажность рыбы на сухую массу w_i^c (%), в соответствующие моменты времени по формуле:

$$w_i^c = \frac{m_i \cdot 100}{m_c - m_i}, \quad (1)$$

где m_i – масса рыбы в определенный момент времени, кг; m_c – масса сухого вещества в рыбе, кг.

Расчет массы сухого вещества в рыбе:

$$m_c = m_0 \cdot \left(1 - \frac{w_0}{100}\right), \quad (2)$$

где w_0 – начальная влажность рыбы на общую массу, %.

Расчет коэффициентов потенциалопроводности (диффузии воды) массопереноса производили, используя основное уравнение для потока влаги. Поток влаги в процессах холодного копчения и вяления q_m (кг/м²с) для тел, по форме приближающихся к пластине:

$$q_m = -\frac{\lambda_m}{C_m \rho_o} \rho_o \nabla U = -a_m \rho_o \nabla U, \quad (3)$$

где λ_m – коэффициент влагопроводности, кг/(м·с·ед. потенциала); C_m – удельная массоемкость, кг/(кг_{с.в.}·ед. потенциала); ρ_o – масса абсолютно сухого вещества в единице влажного тела, кг_{с.в.}/м³; ∇U – градиент влагосодержания, кг/(кг_{с.в.}·м); a_m – коэффициент диффузии воды в рыбе, м²/с

Обобщение экспериментальных зависимостей кинетики обезвоживания провесной и вяленой рыбы проводили на основе безразмерных чисел подобия:

$$\frac{\omega^c}{\omega_{k1}^c} \cdot \frac{\omega^c}{\omega_{k2}^c} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{k1}} \cdot \frac{\tau}{\tau_{k2}}\right), \quad (4)$$

Поиск математического выражения и коэффициентов зависимости (4) осуществлялся с помощью программы XLSTAT – надстройки для анализа данных Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В выражении (4) длительность τ_{k1} учитывает влияние на продолжительность обезвоживания температуры сушильного агента, его относительной влажности, а также геометрической формы и содержания влаги в объекте сушки; τ_{k2} косвенно учитывает изменчивость внутренних свойств объекта в процессе обработки, обусловленных формой и энергией связи воды с материалом. В результате обработки экспериментальных данных было подобрано математическое выражение обобщенной зависимости (4) для расчета текущей влажности рыбы в процессе обезвоживания:

$$w^c = \left[w_{k1}^c w_{k2}^c \left(\frac{1,394}{\left(1 + \left(\frac{\tau^2}{\tau_{k1} \tau_{k2} 4528,678}\right)^{0,433}\right)^{10,003}} + \right) \right]^{0,5} \quad (5)$$

Также было найдено математическое выражение обобщенной зависимости для расчета продолжительности процесса обезвоживания:

$$\tau = \left[\tau_{k1} \tau_{k2} \left(\frac{10744,968}{\left(1 + \left(\frac{w^c}{w_{k1}^c w_{k2}^c} \cdot 0,034\right)^{0,491}\right)^{3,296}} - \right) \right]^{0,5} \quad (6)$$

Полученные выражения могут использоваться при расчете длительности процессов обезвоживания при производстве провесной, вяленой и копченой рыбы, а также моделировании кривых сушки данных процессов. Изучение кинетики сушки на математических моделях позволяет обосновывать и разрабатывать рациональные режимы тепловой обработки сырья [11, 12]. Значения $\tau_{k1} \tau_{k2}$ в формуле (5) и $w_{k1}^c w_{k2}^c$ (6) находятся с использованием зависимостей, представленных ранее [10].

Для моделирования динамики распределения воды в объекте обработки необходимо иметь значения коэффициентов потенциалопроводности массопереноса [13, 14]. Значения этих коэффициентов зависят от содержания воды в рыбе и энергии связи воды с тканями рыбы [15–20].

Для расчета коэффициентов потенциалопроводности массопереноса воды используется обобщенная функциональная зависимость [3]:

$$\left(w^c/w_{k1}^c\right) \times \left(w^c/w_{k2}^c\right) = f\left(a_m/a_{mk1}\right) \times \left(a_m/a_{mk2}\right), \quad (7)$$

где a_m , a_{mk1} , a_{mk2} – коэффициенты диффузии влаги, соответствующие текущей w^c , первой w_{k1}^c и второй w_{k2}^c критическим влажностям на сухую массу, соответственно.

В математическом виде обобщенная зависимость для расчета коэффициентов диффузии представлена следующим выражением:

$$a_m = \left[a_{mk1} a_{mk2} \exp\left(\frac{-6,36 + 6,32\left(w^c/w_{k1}^c\right) \times \left(w^c/w_{k2}^c\right)}{\left(w^c/w_{k2}^c\right)}\right) \right]^{0,5} \quad (8)$$

С помощью полученной зависимости рассчитываются коэффициенты потенциалопроводности массопереноса в рыбе по одному экспериментальному значению. Рассмотрим возможность нахождения коэффициентов диффузии влаги без постановки эксперимента.

Преобразуем выражение (8), возведя левую и правую части уравнения в квадрат:

$$a_m^2 = a_{mk1} a_{mk2} \exp\left(\frac{-6,36 + 6,32 w^c / \left(w^c/w_{k1}^c\right) / \left(w^c/w_{k2}^c\right)}{\left(w^c/w_{k2}^c\right)}\right) \quad (9)$$

Коэффициенты диффузии влаги a_{m0} при влажности равной начальной w_0 будут иметь максимальное значение, то есть, $a_{m0}^2 = f(w_0^2)$.

Значения коэффициентов a_{mk1} и a_{mk2} обратно пропорциональны критическим влажностям w_{k1}^c, w_{k2}^c , которые зависят от начальной влажности w_0 на общую массу [10]:

$$w_{k1}^c = 1,069w_0^{0,969}, \quad (10)$$

$$w_{k2}^c = 0,784w_0^c + 2 \quad (11)$$

Неизвестное значение произведения $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$ в уравнении (9) может быть найдено расчетным путем, используя зависимости, полученные на основе обобщения экспериментальных данных. Для этого в уравнении (9)

разделим правую и левую части на произведение $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$, тогда уравнение (9) приобретет более удобный для анализа вид:

$$a_m^2 / (a_{mk1} \times a_{mk2}) = \exp(-6,36 + 6,32w^c / (w^c / w_{k2}^c)) \quad (12)$$

Из уравнений (9)–(12) следует, что: $a_{m0}^2 = f(w_0^c); a_{m0}^2 = f(w_{k1}^c); a_{m0}^2 = f(w_{k2}^c)$.

На рисунках 2 и 3 представлены графики изменения произведения начальной влажности рыбы на сухую массу w_0^2 и коэффициентов диффузии влаги a_{mk1} и a_{mk2} в зависимости от первой w_{k1}^c и второй w_{k2}^c критических влажностей.

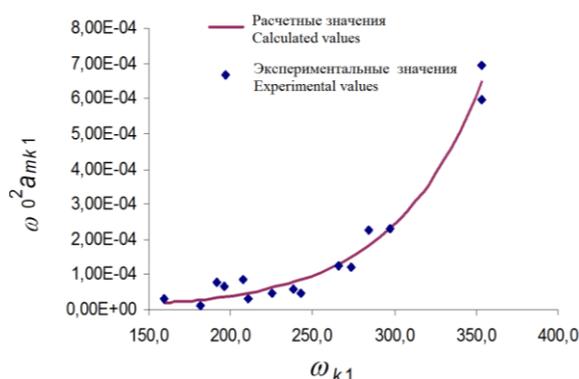


Рисунок 2. $w_0^2 a_{mk1} = f(w_{k1}^c)$

Figure 2. $w_0^2 a_{mk1} = f(w_{k1}^c)$

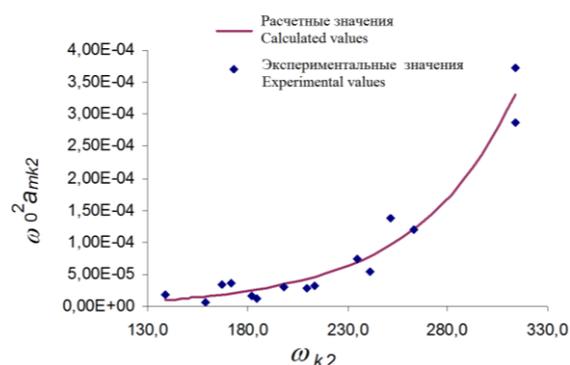


Рисунок 3. $w_0^2 a_{mk2} = f(w_{k2}^c)$

Figure 3. $w_0^2 a_{mk2} = f(w_{k2}^c)$

Коэффициенты корреляции между двумя множествами на рисунке 2 и рисунке 3 составили 0,88, что указывает на существование функциональной зависимости между $w_0^2 a_{mk1}$ и w_{k1}^c ; $w_0^2 a_{mk2}$ и w_{k2}^c . В математическом виде зависимости, представленные на рисунках 2 и 3, выглядят следующим образом:

$$a_{mk1} = \exp(-13,845 + 1,842 \cdot 10^{-2} w_{k1}^c) / w_0^c{}^2, \quad (13)$$

$$a_{mk2} = \exp(-14,253 + 1,982 \cdot 10^{-2} w_{k2}^c) / w_0^c{}^2. \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14) используются для вычисления произведения $a_{mk1} \cdot a_{mk2}$, которое подставляется в выражение (8) для расчета коэффициентов диффузии воды.

На рисунке 4 представлены расчетные и экспериментальные кривые обезвоживания при изготовлении провесной трески. Расчетные значения получены по формуле (5). Параметры технологического процесса обезвоживания трески: t_r – температура теплоносителя (воздуха), $t_r = 20$ °C; φ_r – относительная влажность теплоносителя, $\varphi_r = 50\%$; v – скорость движения теплоносителя, $v = 1,5$ м/с; w_0 – начальная влажность рыбы на общую массу, $w_0 = 79,8\%$; s/m – удельная поверхность рыбы, $s/m = 0,21$ м²/кг.

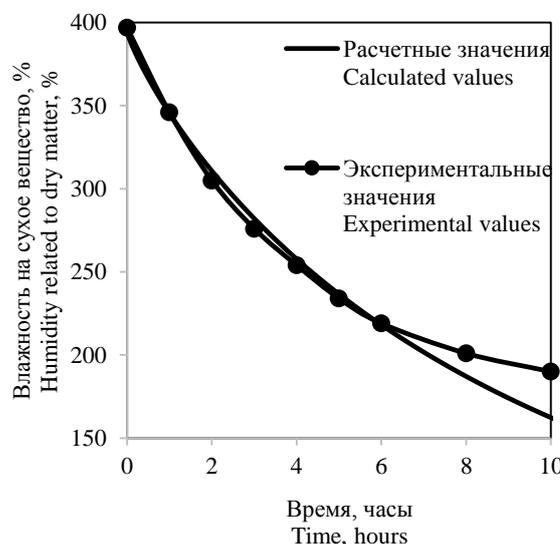


Рисунок 4. Расчетные и экспериментальные кривые обезвоживания провесной трески

Figure 4. Calculated and measured dehydration curves of air-dried cod

На рисунке 5 представлены экспериментальные и расчетные значения коэффициентов диффузии влаги, полученные при изготовлении провесной трески. Расчетные коэффициенты диффузии влаги находились с использованием выражений (9), (13) и (14).

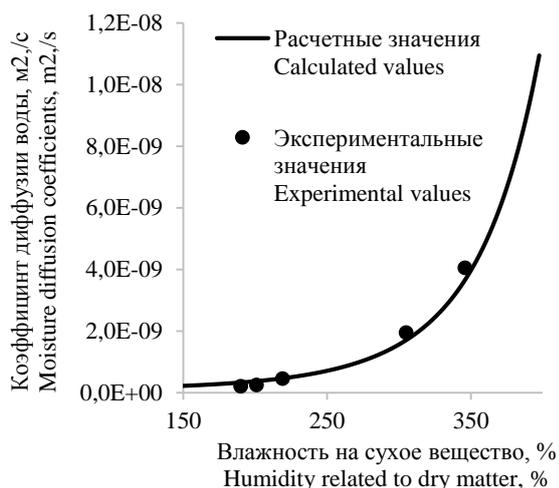


Рисунок 5. Расчетные и экспериментальные коэффициенты диффузии влаги провесной трески
Figure 5. Calculated and measured moisture diffusion coefficients of air-dried cod

Использование выражений (5), (6), (8)–(14) позволяет получать решения уравнения в частных производных диффузионного типа, например, для одномерного (по пространству) дифференциального уравнения в частных производных:

Литература

- 1 Социально-экономическое положение Мурманской области в 2020 году: доклад // Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманск, 2020. 67 с.
- 2 Шестаков И.В. Доклад заместителя Министра сельского хозяйства Российской Федерации на расширенном заседании Коллегии «Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2016 году и задачи на 2017 год» (Москва, 30 марта 2017 г.). URL: <http://fish.gov.ru/obiedinnaya-press-sluzhba/vystupleniya-i-intervyu-rukovodstva/17486-doklad-zamestitelya-ministra-selskogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-rukovoditelya-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-ili-vasilevicha-shestakova-na-rasshirennom-zasedanii-kollegii-itogi-deyatelnosti-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-v-2016-godu-i>
- 3 Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2019 году: материалы Коллегии // Федеральное агентство по рыболовству. URL: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf
- 4 Мусина А.Р., Глазунов Ю.В. Оценка качества и безопасности вяленой чехони, реализуемой на рынках города Тюмени // АПК: инновационные технологии. 2020. № 2. С. 19-26. doi: 10.35524/2687-0436_2020_02_19
- 5 Неверов Е.Н., Салищева О.В., Коротких П.С. Методы совершенствования технологии хранения сушено-вяленой рыбы // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3(144). С. 175-181.
- 6 Есина Л.М., Горбенко Л.А. Актуализация документов по стандартизации на рыбу провесную для обеспечения соблюдения требований ТР ЕАЭС 040/2016 // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 4. С. 89-102. doi: 10.47921/2619-1024_2020_3_4_89
- 7 Пат. № 2584442, RU, А23В 4/00, 4/03. Способ производства вяленой рыбы / Ершов М.А., Ершов А.М., Селяков И.Ю. и др. № 2015108980/13; Заявл. 13.03.2015; Опубл. 20.05.2016. Бюл. № 14
- 8 Ершов М.А. Научное обоснование технологии обезвоживания рыбы с использованием релаксационных процессов // Рыбное хозяйство. 2018. №. 6. С. 98-100.
- 9 Пат. № 2619983, RU, А23В 4/03. Способ приготовления вяленой рыбы / Прокопец Ж. Г., Журавлева С.В., Бойцова Т.М. и др. № 2016101279; Заявл. 19.01.2016; Опубл. 22.05.2017. Бюл. № 15.
- 10 Ершов М.А., Ершов А.М., Гроховский В.А. Расчет процессов релаксации при обезвоживании рыбы // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 37–43. doi: 10.20914/2310-1202-2016-3-37-43
- 11 Lemus-Mondaca R., Pizarro-Oteiza S., Perez-Won M., Tabilo-Munizaga G. Convective drying of osmo-treated abalone (*Haliotis rufescens*) slices: diffusion, modeling, and quality features // Journal of Food Quality. 2018. doi: 10.1155/2018/6317943
- 12 Maisnam D. et al. Recent advances in conventional drying of foods // Journal of Food Technology and Preservation. 2017. V. 1. № 1. P. 25-34.
- 13 Ramachandran R.P., Akbarzadeh M., Paliwal J. et al. Computational fluid dynamics in drying process modelling-a technical review // Food and bioprocess technology. 2018. V. 11. № 2. P. 271-292. doi: 10.1007/s11947-017-2040-y
- 14 Gao X., Wang J., Wang S., Li Z. Modeling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach // Drying technology. 2016. V. 34. № 4. P. 437-442. doi: 10.1080/07373937.2015.1060491

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_m \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (15)$$

где x – пространственная координата.

Таким образом, применяя численные методы расчета, можно строить не только кривые кинетики обезвоживания (рисунок 4), но и кривые распределения воды по толщине продукта в течение сушки.

Заключение

Разработаны обобщенные зависимости для расчета продолжительности обезвоживания при производстве вяленой, провесной и копченой рыбной продукции. Полученные закономерности позволяют моделировать кривые обезвоживания при изготовлении вяленой и провесной рыбы. Найдены зависимости для расчета коэффициентов потенциалопроводности в критических точках кривой кинетики обезвоживания. Полученные формулы могут использоваться для расчета коэффициентов диффузии воды в рыбе. Это дает возможность моделировать кривые динамики распределения воды в объекте обработки.

- 15 Mewa E.A., Okoth M.W., Kunyanga C.N., Rugiri M.N. Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer // *Renewable energy*. 2019. V. 139. P. 235-241. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.067
- 16 Varga M., Balogh S., Wei Y., Li D. et al. Dynamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems // *Information Processing in Agriculture*. 2016. V. 3. № 3. P. 146-156. doi: 10.1016/j.inpa.2016.06.001
- 17 Takashige S., Iwamoto S., Shiga H., Kakizaki Y. et al. Stability of Fish Oil Encapsulated in Spray-dried Powders Coated with Starch Particles // *Food Science and Technology Research*. 2019. V. 25. № 3. P. 363-371. doi: 10.3136/fstr.25.363
- 18 Noma S., Koyanagi L., Kawano S., Hayashi N. Application of Pressurized Carbon Dioxide during Salt-Reduced Sardine Fish Sauce Production // *Food Science and Technology Research*. 2020. V. 26. № 2. P. 195-204. doi: 10.3136/fstr.26.195
- 19 Andot L.P., Pobar R.A. Dried Porang Industry in Lakewood, Zamboanga Del Sur, Philippines // *International Journal of Environmental and Rural Development*. 2017. V. 8. № 2. P. 94-99. doi: 10.32115/ijerd.8.2_94
- 20 Komolafe C.A., Ojediran J.O., Ajao F.O., Dada O.A. et al. Modelling of moisture diffusivity during solar drying of locust beans with thermal storage material under forced and natural convection mode // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2019. V. 15. P. 100542. doi: 10.1016/j.csite.2019.100542

References

- 1 Socio-economic situation of the Murmansk region in 2020: report. Federal State Statistics Service, Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Murmansk Region. Murmansk, 2020.67 p. (in Russian).
- 2 Shestakov I.V. Report of the Deputy Minister of Agriculture of the Russian Federation at an expanded meeting of the Board "Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2016 and objectives for 2017" (Moscow, March 30, 2017). Available at: http://fish.gov.ru/obiedinennaya-press-sluzhba/vystupleniya-i-intervyu-rukovodstva/17486_doklad-zamestitelya-ministraselskogo-khozyajstva-rossijskoj-federatsii-rukovoditelya-federalnogo-agentstva-federalnogo-agentstva-federalnogo-agentstva-ili-vasilevicha-shestakova-na-rasshirennom-zasedanii-kollegii-itogi-deyatelnosti-federalnogo-agentstva-po-rybolovstvu-v-2016-godu-i (in Russian).
- 3 Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2019: materials of the Board. Federal Agency for Fisheries. Available at: http://fish.gov.ru/files/documents/ob_agentstve/kollegiya/itogi_2020.pdf (in Russian).
- 4 Musina A.R., Glazunov Yu.V. Assessment of the quality and safety of dried sabrefish sold in the markets of the city of Tyumen. *APK: innovative technologies*. 2020. no. 2. pp. 19-26. doi: 10.35524 / 2687-0436_2020_02_19 (in Russian).
- 5 Neverov E.N., Salishcheva O.V., Korotkikh P.S. Methods for improving the storage technology of dried and dried fish. *Bulletin of KrasGAU*. 2019. no. 3 (144). pp. 175-181. (in Russian).
- 6 Esina L.M., Gorbenko L.A. Updating of documents on standardization for suspended fish to ensure compliance with the requirements of TR EAEU 040/2016. *Aquatic bioresources and habitat*. 2020. vol. 3. no. 4. pp. 89-102. doi: 10.47921 / 2619-1024_2020_3_4_89 (in Russian).
- 7 Ershov M.A., Ershov A.M., Selyakov I.Yu. et al. Method for the production of dried fish. Patent RF, no. 2584442, 2016.
- 8 Ershov M.A. Scientific substantiation of fish dehydration technology using relaxation processes. *Rybnoe khozyaistvo*. 2018. no. 6. pp. 98-100. (in Russian).
- 9 Prokopets Zh.G., Zhuravleva S.V., Boytsova T.M. et al. Method for preparing dried fish. Patent RF, no. 2619983, 2017.
- 10 Ershov M.A., Ershov A.M., Grokhovsky V.A. Calculation of relaxation processes during fish dehydration. *Proceedings of VSUET*. 2016. no. 3. pp. 37-43. doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-3-37-43 (in Russian).
- 11 Lemus-Mondaca R., Pizarro-Oteiza S., Perez-Won M., Tabilo-Munizaga G. Convective drying of osmo-treated abalone (*Haliotis rufescens*) slices: diffusion, modeling, and quality features. *Journal of Food Quality*. 2018. doi: 10.1155/2018/6317943
- 12 Maisnam D. et al. Recent advances in conventional drying of foods. *Journal of Food Technology and Preservation*. 2017. vol. 1. no. 1. pp. 25-34.
- 13 Ramachandran R.P., Akbarzadeh M., Paliwal J. et al. Computational fluid dynamics in drying process modelling-a technical review. *Food and bioprocess technology*. 2018. vol. 11. no. 2. pp. 271-292. doi: 10.1007/s11947-017-2040-y
- 14 Gao X., Wang J., Wang S., Li Z. Modeling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach. *Drying technology*. 2016. vol. 34. no. 4. pp. 437-442. doi: 10.1080/07373937.2015.1060491
- 15 Mewa E.A., Okoth M.W., Kunyanga C.N., Rugiri M.N. Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. *Renewable energy*. 2019. vol. 139. P. 235-241. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.067
- 16 Varga M., Balogh S., Wei Y., Li D. et al. Dynamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems. *Information Processing in Agriculture*. 2016. vol. 3. no. 3. pp. 146-156. doi: 10.1016/j.inpa.2016.06.001
- 17 Takashige S., Iwamoto S., Shiga H., Kakizaki Y. et al. Stability of Fish Oil Encapsulated in Spray-dried Powders Coated with Starch Particles. *Food Science and Technology Research*. 2019. vol. 25. no. 3. pp. 363-371. doi: 10.3136/fstr.25.363
- 18 Noma S., Koyanagi L., Kawano S., Hayashi N. Application of Pressurized Carbon Dioxide during Salt-Reduced Sardine Fish Sauce Production. *Food Science and Technology Research*. 2020. vol. 26. no. 2. pp. 195-204. doi: 10.3136/fstr.26.195
- 19 Andot L.P., Pobar R.A. Dried Porang Industry in Lakewood, Zamboanga Del Sur, Philippines. *International Journal of Environmental and Rural Development*. 2017. vol. 8. no. 2. pp. 94-99. doi: 10.32115/ijerd.8.2_94
- 20 Komolafe C.A., Ojediran J.O., Ajao F.O., Dada O.A. et al. Modelling of moisture diffusivity during solar drying of locust beans with thermal storage material under forced and natural convection mode. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2019. vol. 15. pp. 100542. doi: 10.1016/j.csite.2019.100542

Сведения об авторах

Михаил А. Ершов к.т.н., ст. науч. сотр., кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, eshovma@mstu.edu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5072-2322>

Александр М. Ершов д.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, maershov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9854-2868>

Евгений В. Лыжин аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, evlyzhin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5869-2180>

Владимир А. Гроховский д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, v.grokhosky@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Жанна Г. Димова студент, факультет промышленного и гражданского строительства, Московский государственный строительный университет, Ярославское ш., 26, Москва, 129337, Россия, dimowa.zhanna2014@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1197-1286>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mikhail A. Ershov Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, Food Production Technology Department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, eshovma@mstu.edu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5072-2322>

Alexander M. Ershov Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, maershov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9854-2868>

Evgenij V. Lyzhin graduate student, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, evlyzhin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5869-2180>

Vladimir A. Grohovskiy Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, food production technology department, Murmansk State Technical University, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, v.grokhosky@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Zhanna G. Dimova student, faculty of industrial and civil engineering, Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe rd., 26, Moscow, 129337, Russia, dimowa.zhanna2014@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1197-1286>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 27/01/2021	После редакции 10/02/2021	Принята в печать 01/03/2021
Received 27/01/2021	Accepted in revised 10/02/2021	Accepted 01/03/2021