

Научная статья/Research Article

УДК [664.834:635.615]:[001.891.57:604.4:577.16]

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-218-227

Виолетта Эдуардовна Поликарпова¹, Игорь Юрьевич Алексанян²,
Зарема Михайловна Арапова³, Альберт Хамед-Харисович Нугманов⁴✉,
Ришад Абдулхакимович Хайбулов⁵, Виктория Николаевна Саинова⁶,
Елена Викторовна Андреева⁷

^{1,2,4,5,6,7}Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

³Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, Москва, Россия

^{1,4,5}albert909@yandex.ru

²16081960igor@gmail.com

³zarema.polymer@gmail.com

^{6,7}elpetrovicheva1970@gmail.com

КИНЕТИКА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ИКРЫ САЗАНА КАК ИСТОЧНИКА ЛЕЦИТИНА И РЕШЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАННОЙ ОПЕРАЦИИ

Цель исследования – разработка рациональных режимных параметров операции высушивания икры из сазана путем теоретического и эмпирического исследования данной процедуры, а также построения, адаптации к объекту изучения и решения математической модели тепломассопереноса при ее осуществлении. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: разработать рациональный способ конвективной сушки икорного сырья с учетом влияния основных факторов на процесс; получить расчетные зависимости кинетики влагоудаления и удельной производительности сушильного устройства от влияющих факторов; провести моделирование этого процесса, результатом которого будет распределение температуры по глубине слоя в зависимости от его влажности. Определен рациональный способ конвективной сушки икорного сырья с учетом влияния основных факторов на процесс, т. е., рациональными режимными показателями для обезвоживания сазаньей икры являются: $v_{с.а.} = 3,5$ м/с, направленная вдоль поверхности высушиваемого материала; $h_{вм} = 0,015$ м; $T_{с.а.} = 40$ °С; $T_{з.п.} = 40$ °С; $T_{вм} = 10$ °С; $W_k = 01$ кг/кг, что обеспечивает $Y = 7,72$ кг/(м²·ч), а время сушки до $W = 0,10$ кг/кг составляет 125 минут. Получены расчетные зависимости кинетики влагоудаления и удельной производительности сушильного устройства от влияющих факторов. Проведено моделирование процесса конвективной сушки икорного сырья, результатом которого стало распределение температуры по глубине слоя в зависимости от его влажности. рекомендованные режимы конвективно-кондуктивного подвода тепла для удаления влаги из сазаньей икры можно использовать при производстве лецитинсодержащих пищевых продуктов, а разработанные режимные параметры сушки икорного продукта и результаты ее моделирования могут успешно использоваться при реализации технологии лецитина из сазаньей икры, так как позволяют сохранить в объекте обработки необходимый целевой компонент.

Ключевые слова: икра сазана, сушка, кинетика, внутренний тепломассоперенос, конвективный и кондуктивный энергоподвод, удельная производительность, математическая модель, метод конечных разностей

Для цитирования: Кинетика конвективной сушки икры сазана как источника лецитина и решение математической модели данной операции / В.Э. Поликарпова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2. С. 218–227. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-218-227.

Violetta Eduardovna Polikarpova¹, Igor Yurievich Aleksanyan², Zarema Mikhailovna Arabova³, Albert Khamed-Kharisovich Nugmanov⁴, Rishad Abdulkhakimovich Khaibulov⁵, Victoria Nikolaevna Sainova⁶, Elena Viktorovna Andreeva⁷

^{1,2,4,5,6,7}Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

³Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry named after V. I. Vernadsky, Moscow, Russia

^{1,4,5}albert909@yandex.ru

²16081960igor@gmail.com

³zarema.polymer@gmail.com

^{6,7}elpetrovicheva1970@gmail.com

KINETICS OF CARP ROE CONVECTIVE DRYING AS A LECITHIN SOURCE AND THE SOLUTION OF THE MATHEMATICAL MODEL TO THIS OPERATION

The purpose of the study is to develop rational regime parameters for the operation of drying carp roe by theoretical and empirical research of this procedure, as well as building, adapting to the object of study and solving a mathematical model of heat and mass transfer during its implementation. To achieve this goal, it is necessary to solve a number of tasks: to develop a rational method for convective drying of roe raw materials, taking into account the influence of the main factors on the process; to obtain the calculated dependences of the kinetics of dehumidification and the specific productivity of the drying device on the influencing factors; carry out a simulation of this process, the result of which will be the distribution of temperature over the depth of the layer depending on its moisture content. A rational method for convective drying of roe raw materials has been determined, taking into account the influence of the main factors on the process, i.e., rational regime indicators for dehydration of carp roe are: $v_{c.a.} = 3.5$ m/s, directed along the surface of the dried material; $h_{vm} = 0.015$ m; $T_{s.a.} = 40$ °C; $T_{g.p.} = 40$ °C; $T_{vm} = 10$ °C; $W_k = 0.1$ kg/kg, which provides $Y=7.72$ kg/(m² · h), and the drying time to $W = 0.10$ kg/kg is 125 minutes. The calculated dependences of the kinetics of moisture removal and the specific productivity of the drying device on the influencing factors are obtained. The modeling of the process of convective drying of roe raw materials was carried out, which resulted in the distribution of temperature over the depth of the layer, depending on its moisture content. The recommended modes of convective-conductive heat supply to remove moisture from carp roe can be used in the production of lecithin-containing food products, and the developed regime parameters for drying the roe product and the results of its modeling can be successfully used in the implementation of the lecithin technology from carp caviar, as they allow you to save in the processing object required target component.

Keywords: carp roe, drying, kinetics, internal heat and mass transfer, convective and conductive energy supply, specific productivity, mathematical model, finite difference method

For citation: Kinetics of carp roe convective drying as a lecithin source and the solution of the mathematical model to this operation / V.E. Polikarpova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(2): 218–227. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-218-227.

Введение. Повышение эффективности глубокой переработки сырья товарного рыболовства, в том числе мало востребованной на российском рынке икры пресноводных рыб семейства карповых [1], является важной и актуальной задачей. Пищевая индустрия РФ нуждается в природных эмульгаторах высокого качества, к примеру в лецитинах. Следует отметить, что карповая, в частности сазанья, икра содержит большое количество лецитина [2–4].

Известно, что самыми распространенными способами консервации являются сушка и замораживание исходного сырья.

Анализ способов обезвоживания показал, что эффективным для сазаньей икры является конвективный энергоподвод при возможной комбинации с кондуктивным при использовании ленточных сушильных установок. Это продиктовано возможностью сохранения в продукте лецитина, что позволит увеличить интенсивность удаления влаги из объекта при использовании сравнительно простых конструкторских решений. Снижение начальной температуры сушильного агента до 40 °C при условии отсутствия превышения температуры T продукта этого порога даст возможность сохранения высоких качественных показателей икорного полуфабриката.

Для комплексного изучения процесса построения, адаптации к объекту исследования и решения математической модели переноса тепла и массы, а также выявления механизма отведения влаги из квазижидкой субстанции необходимо выявить кинетические закономерности внутреннего переноса тепловой энергии и массы и обмена ими на границе раздела фаз.

Цель исследования – разработка рациональных режимных параметров операции высушивания икры из сазана путем теоретического и эмпирического исследования данной процедуры, а также построения, адаптации к объекту изучения и решения математической модели тепломассопереноса при ее осуществлении.

Задачи: разработать рациональный способ конвективной сушки икорного сырья с учетом влияния основных факторов на процесс; получить расчетные зависимости кинетики влагоудаления и удельной производительности сушильного устройства от влияющих факторов; провести моделирование этого процесса, результатом которого будет распределение температуры по глубине слоя в зависимости от его влажности.

Объект и методы. Объектом исследования является тонкий слой икры из сазана.

Определять кинетические закономерности операции удаления влаги можно аналитически, эмпирически и комплексно, совмещая данные подходы [5, 6]. В нашем случае эта задача решалась применением известных методик составления плана опытной серии и обработки полученных результатов при соблюдении технологически оправданных условий обезвоживания.

Схематически опытный стенд для отведения влаги из образца при комбинации контактного и конвективного подведения тепла в атмосферных условиях показан на рисунке 1. Конструктивное исполнение опытного стенда обеспечивает контроль и регулирование влияющих факторов (температуру теплового носителя и греющей пластины, скорость сушильного агента, высоту слоя) в необходимых диапазонах. Температура сушильного агента, как и греющей пластины, ограничивается $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как при выходе за данный температурный порог вероятно перегревание и локальное подгорание навески, а интенсивность движения теплового носителя не должна превышать лимит $3,5\text{ м/с}$ по причине того, что в таком случае возможно деформирование поверхности образца, его деструкция и частичный унос.

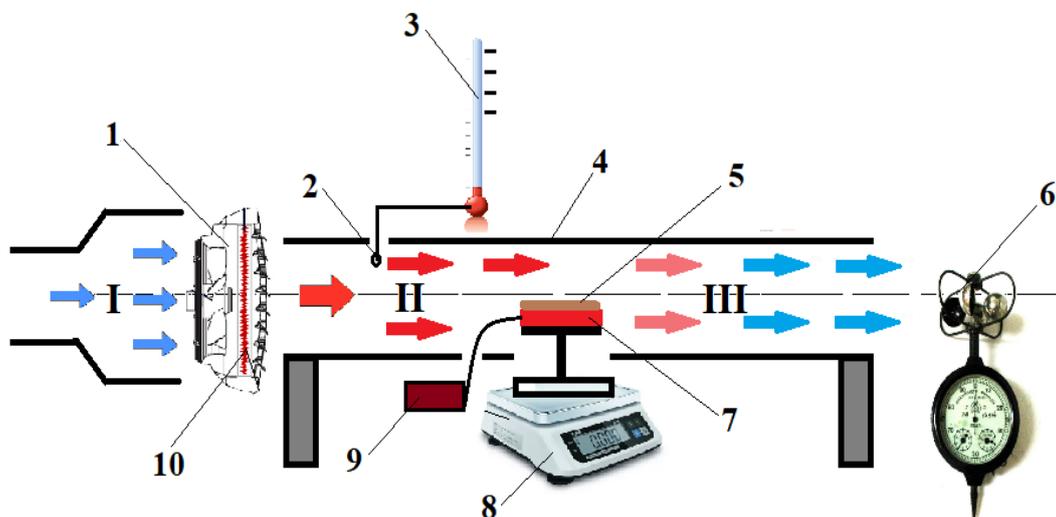


Рис. 1. Схематическое изображение опытного стенда:

I – холодные потоки воздушной среды; II – поток теплоносителя при определенных температурном и скоростном режимах; III – поток теплоносителя на выходе из зоны сушки; 1 – вентиляторная станция; 2 – датчик контроля температуры; 3 – термический элемент; 4 – обечайка сушильной установки; 5 – навеска; 6 – анемометр электронного типа; 7 – нагретый пластинчатый элемент; 8 – весовое устройство; 9 – источник питания; 10 – калориферный узел

Принимая во внимание тот факт, что при анализе процедуры обезвоживания тонкого слоя образца выявить влажность W в его объеме или по глубине его сечения, соответствующего определенному времени протекания процесса, опытным путем затруднительно, то можно с допустимой погрешностью строить и математически описывать интегральные кривые влагоудаления как зависимость средней по слою W от времени операции.

За переменные факторы, обуславливающие величину интенсивности отведения влаги из

образца от его исходной W_H до итоговой W_K (кг/кг), были взяты следующие: скорость сушильного агента $v_{c.a.}$ (м/с), направленная вдоль поверхности высушиваемого материала, и толщина его слоя $h_{эм}$ (м). В качестве неварьируемых параметров приняты следующие: температура сушильного агента $T_{c.a.}$, температура греющей пластины $T_{г.п.}$ и икры $T_{эм}$ (°K).

Значения неварьируемых показателей, обуславливающих кинетику процедуры сушки, приведены в таблице 2.

Таблица 1

Влияющие на процесс обезвоживания икорного продукта и варьируемые факторы

W_H , кг/кг	$v_{c.a.}$, м/с	$h_{эм}$, м	W_K , кг/кг
0,64	1,5	0,010	0,10
	2,5	0,015	
	3,5	0,020	

Таблица 2

Неварьируемые параметры процесса обезвоживания арбузного полуфабриката

W_H , кг/кг	$T_{c.a.}$, °C	$T_{эм}$, °C	$T_{г.п.}$, °C	W_K , кг/кг
0,64	40	10	40	0,10

За целевую функцию взята масса высушенного образца M , отнесенная к площади рабочей поверхности S и времени процедуры τ , т. е. Y , кг/(м²·ч)

$$Y = \frac{M}{\tau \cdot S} \quad (1)$$

В результате обозначенных эмпирических исследований получена и решена математическая модель теплопереноса и массообмена при отведении влаги при T теплового агента 40 °C.

Нахождение T в объеме тонкого слоя икры при комбинированном подведении тепла к нему можно осуществить посредством решения комплекса уравнений переноса тепла и вещества, что заметно упрощается, решая лишь соотношение для трансфера тепловой энергии, применив эмпирические уравнения, описывающие кинетические закономерности отведения влаги [6].

Решение математической модели конечно-разностным численным способом [7] опиралось на допущения, обоснованные в публикациях [6].

Уравнение трансфера тепловой энергии в частных производных в одномерном варианте выглядит как

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a}{\partial C} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r\rho}{c_V} \quad (2)$$

где x – координата глубины слоя навески, м; a – параметр ее температуропроводности, м²/с; $\frac{\partial C}{\partial \tau}$ – интенсивность влагоудаления, кг/(кг·с) при допуске изотропности ее структурной организации; r – суммарная энергетическая составляющая, обусловленная парообразованием и нарушением связи воды с сухим веществом, Дж/кг; ρ – ее плотность, кг/м³; c_V – ее объемная теплоемкость Дж/(м³·K).

Результатом решения соотношения (2) при заданных краевых условиях будет функциональная зависимость $T = f(C, x)$, причем целесообразно провести рокировку W и концентрации сухого остатка $C = 1 - W$.

Граничные условия в приведенном варианте конвективного подведения тепла выглядят следующим образом:

$$\lambda(C) \frac{\partial T}{\partial x} = -\alpha(T_{c.a} - T_{пов}), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $T_{c.a}$ – для теплоносителя; $T_{пов}$ – для поверхности контакта фаз, °К.

Для второй границы между образцом с исходной $T = 283$ °К, приближающейся по экспоненте к $T = 313$ °К греющей поверхности, граничное условие выглядит как

$$T_{пов} = 313 - e^{5(c_{нач}-c)}, \quad (4)$$

где $T_{пов}$ – текущая для образца, °К; $c_{нач}$ – начальное и c – текущее относительное содержание сухого скелета в навеске, кг/кг.

Уравнение (2) решалось в среде Mathcad Professional.

Результаты и их обсуждение. В итоге получены кривые влагоудаления из квазижидкой икорной субстанции, которые частично показаны на рисунке 2.

Опытное изучение обезвоживания при $T_{c.a.} = 40$ °С, $T_{з.п.} = 40$ °С и $1,5 \leq v_{c.a.} \leq 3,5$ м/с привело к выводу о том, что удельный съем сухого материала ниже при $h_{эм} = 0,01$ м, а при $h_{эм} = 0,02$ м выше, даже с учетом большей длительности процедуры отведения влаги из икорного продукта, т. е. порядка трех часов. Величина $v_{c.a.}$, которая варьировалась от 1,5 до 3,5 м/с, оказывала существенное влияние на снижение продолжительности сушки, в среднем на 10 %, что объясняется тем, что с ростом скорости газового потока над высушиваемым материалом увеличивается и коэффициент массоотдачи и, следовательно, повышается скорость влагоудаления.

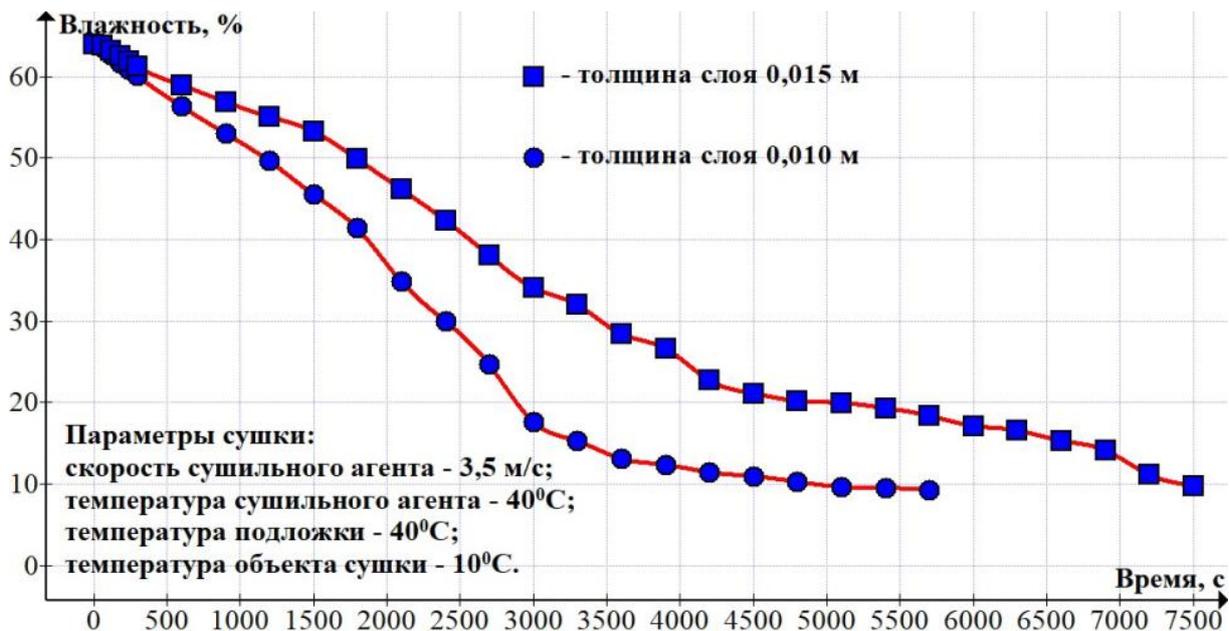


Рис. 2. Кривые влагоудаления из икры сазана

К тому же при увеличении скорости сушильного агента достигается более равномерный прогрев продукта, особенно при $h_{эм} = 0,01$ м, и ускоряется отвод испаренной влаги из рабочей зоны сушки. Следует отметить, что при визуальном анализе среза высушенной продукции

при толщине слоя $h_{эм} = 0,02$ м в центральной его части наблюдались локации непросушенного материала (явный переход от оранжевого оттенка икры к бледно-серому), вследствие чего считаем наиболее рациональной толщину слоя, равной $h_{эм} = 0,015$ м.

Результаты опытной серии по изучению влагоудаления из икры сазана

$v_{c.a.}$, м/с	$T_{c.a.}$, °C/ $T_{2.n.}$, °C	$h_{эм}$, м	τ , с	Y , кг/(м ² ·ч)
1,5	40 / 40	0,010	6900	5,59
1,5	40 / 40	0,015	9000	6,43
1,5	40 / 40	0,020	11100	6,95
2,5	40 / 40	0,010	6300	6,12
2,5	40 / 40	0,015	8100	7,14
2,5	40 / 40	0,020	9900	7,79
3,5	40 / 40	0,010	5700	6,78
3,5	40 / 40	0,015	7500	7,72
3,5	40 / 40	0,020	9000	8,57
Дополнительные сведения		Площадь подложки $S=0,002$ м ² , плотность икорного продуктар= 1071 кг/м ³		

С учетом данных таблицы 3 выведена зависимость Y от $v_{c.a.}$, м/с и $h_{эм}$, м

$$Y = (3,3 \cdot 10^3 v_{c.a.}^2 - 1,42 \cdot 10^4 v_{c.a.} + 7,475 \cdot 10^3) h_{эм}^2 + (-108,5 v_{c.a.}^2 + 495 v_{c.a.} - 170,375) h_{эм} + (0,82 v_{c.a.}^2 - 3,26 v_{c.a.} + 5,995). \quad (5)$$

Из соотношения (5) следует, что рост как высоты слоя навески, так и интенсивности движения теплоносителя до определенных пределов обуславливает увеличение Y .

В случае увеличения высоты слоя, с одной стороны, увеличивается вес сухого образца, а с другой – рост времени протекания операции. Повышение толщины слоя у исходного продукта до 0,02 м при повышении Y нерезонно, что обусловлено вероятностью подгорания и пересушки поверхности образца при влажной сердцевине, особенно при кондуктивном энергоподводе. При высоте менее 10 мм время процедуры может снизиться вдвое, что приводит к уменьшению габаритов агрегата (протяженности транспортера), но обуславливает падение Y . Рациональной служит изначальная высота слоя в 15 мм при снижении ее вследствие десорбционной усадки до 8 до 11 мм.

Увеличение скорости сушильного агента также приводит к росту величины удельной

производительности, но она не может превышать порог в 3,5 м/с, так как приводит к деформации поверхностного слоя у высушиваемого продукта.

Таким образом, рациональными режимными показателями для обезвоживания сазаньей икры являются: $v_{c.a.} = 3,5$ м/с, направленная вдоль поверхности высушиваемого материала; $h_{эм} = 0,015$ м; $T_{c.a.} = 40$ °C; $T_{2.n.} = 40$ °C; $T_{эм} = 10$ °C; $W_k = 0,1$ кг/кг, что обеспечивает $Y = 7,72$ кг/(м²·ч), а время сушки до $W = 0,10$ кг/кг составляет 125 мин.

Для упрощения математического описания кривых обезвоживания и интенсивности данной операции $\frac{d(1-W)}{d\tau} = f(1-W)$ получены обратные закономерности изменения $\tau = f(C)$, показанные на рисунке 3.

Кривые сушки (рис. 3) описаны с относительной ошибкой аппроксимации ниже 10 % в следующем виде:

$$h_{эм} = 0,010 \text{ м}$$

$$\tau = 8,642 \cdot 10^4 C^3 - 1,556 \cdot 10^5 C^2 + 9,6227 \cdot 10^4 C - 1,8681 \cdot 10^4. \quad (6)$$

$$h_{эм} = 0,015$$

$$\tau = 7,578 \cdot 10^4 C^3 - 1,281 \cdot 10^5 C^2 + 8,026 \cdot 10^4 C - 1,587 \cdot 10^4. \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7): τ – продолжительность сушки, с; C – концентрация сухого остатка в навеске, кг/кг.

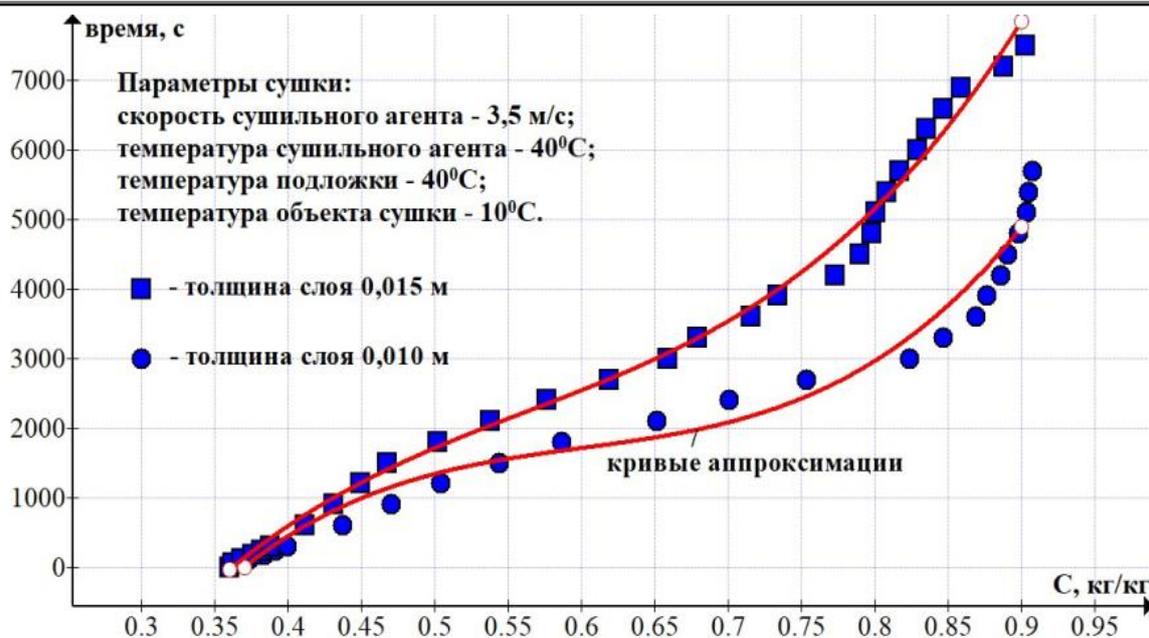


Рис. 3. Кривые обезвоживания икорного продукта при рациональных режимах проведения процесса

При взятии производной от $\tau = f(C)$ имеем $\frac{d\tau}{dC} = f(C)$ и, осуществив математическую трансформацию, получаем: $\frac{dC}{d\tau} = 1/(f(C))$, представленные графически (рис. 4), и их математическое описание (8) и (9):

$$\frac{dC}{d\tau} = \frac{1}{25,926 \cdot 10^4 C^2 - 3,112 \cdot 10^5 C + 9,6227 \cdot 10^4} \quad (8)$$

$$\frac{dC}{d\tau} = \frac{1}{22,734 \cdot 10^4 C^2 - 2,562 \cdot 10^5 C + 8,026 \cdot 10^4} \quad (9)$$

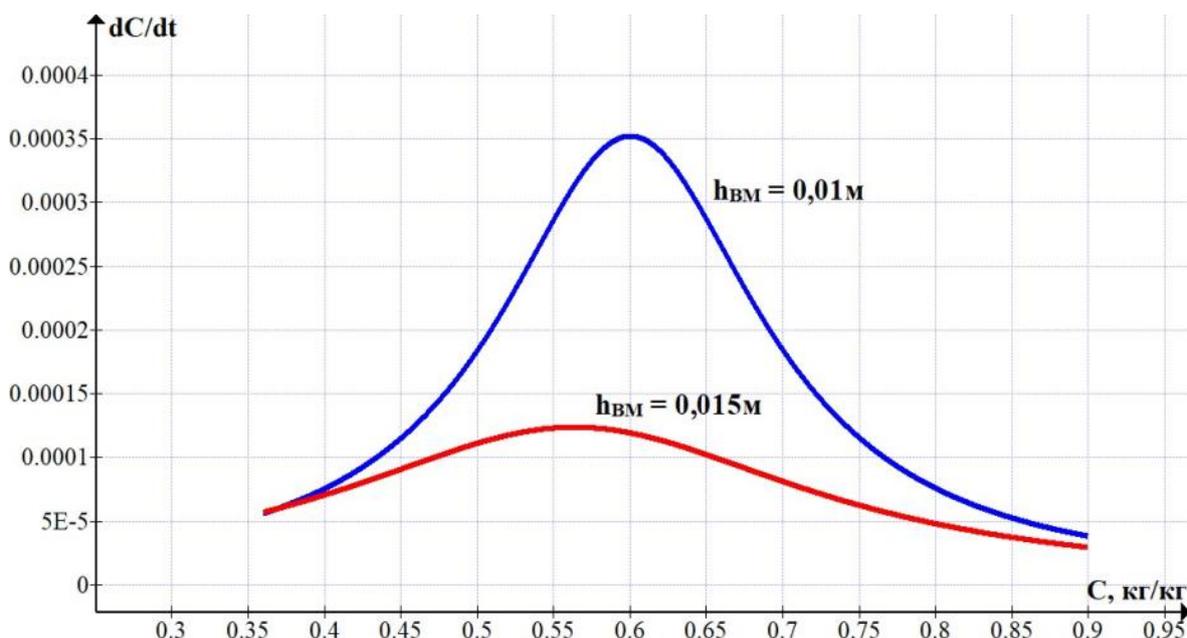


Рис. 4. Кривая интенсивности обезвоживания икры из сазана

На кривой интенсивности удаления влаги присутствуют две зоны [6, 8]. В первой зоне наблюдается повышение интенсивности отведения влаги, в основном в свободном состоянии, до экстремума. Причем интенсивное парообразование в этой зоне обуславливает отсутствие перегрева и подгорания образца при его малозаметной усадке и последующей организации капиллярно-пористой структуры сухой субстанции. По завершении первой зоны W в поверхностном слое становится раной гигроскопической. При этом активизируются процедуры отведения воды в адсорбционно-связанном состоянии при прогревании образца.

В последующей зоне после прохождения пика интенсивности при появлении несоответствия между потоками испаряющейся воды из поверхностного слоя и продвигающейся из его ядра к периферии присутствует углубление границы парообразования [8, 9]. T по глубине слоя

стремится к T теплоносителя, что повышает вероятность деструкции поверхностного слоя образца и формирования в нем пустот.

На рисунке 5 приведена интенсивность продвижения фронта T по глубине слоя и в зависимости от длительности операции для слоя 15 мм высушиваемого икорного продукта с конечной влажностью 10 %. Из рисунка вытекает, что при произвольном C в навеске присутствуют градиенты T по причине инерции трансфера тепла. Вид температурного поля обусловлен явлениями интенсивного испарения свободной влаги и «парникового эффекта», который связан с повышением давления водяного пара внутри пор, ячеек, капилляров в структуре высушиваемого материала и их деструкции по этой причине, причем экстремум наблюдается на участке ($47 \% < C < 58 \%$), следующим за прогревом объекта сушки до температуры парообразования.

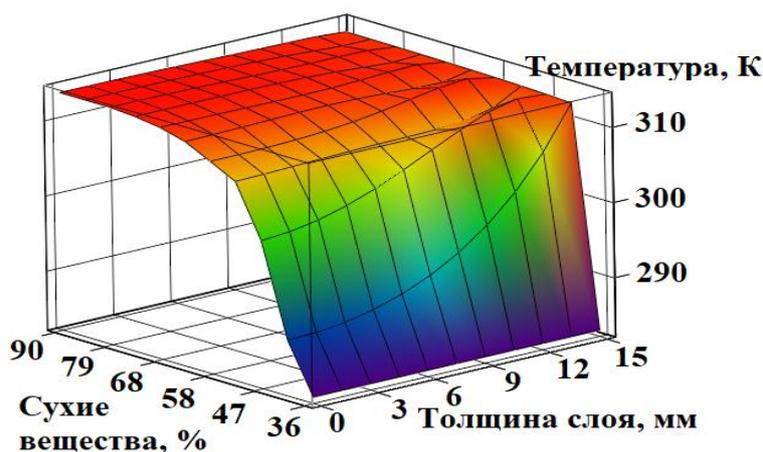


Рис. 5. Трансформация полей температур в течение процесса обезвоживания икорного продукта толщиной 15 мм

Это определяется тем, что фазовый переход вода-пар сопровождается отведением тепловой энергии от вещества и, как следствие, снижением его температуры, в большей степени на поверхности по сравнению с его внутренними слоями. При взаимодействии навески с нагретой подложкой с $T_{г.п.}$ изначально присутствует повышение ее T , приближающейся к $T_{г.п.}$. Отметим, что T навески не превышала пороговой в 314 °К.

Заключение. Определен рациональный способ конвективной сушки икорного сырья с учетом влияния основных факторов на процесс, т. е. ра-

циональными режимными показателями для обезвоживания сазаньей икры являются: $v_{с.а.} = 3,5$ м/с, направленная вдоль поверхности высушиваемого материала; $h_{вм} = 0,015$ м; $T_{с.а.} = 40$ °С; $T_{г.п.} = 40$ °С; $T_{вм} = 10$ °С; $W_K = 0,1$ кг/кг, что обеспечивает $Y = 7,72$ кг/(м²·ч), а время сушки до $W = 0,10$ кг/кг составляет 125 мин.

Получены расчетные зависимости кинетики влагоудаления (уравнения (6) и (7)) и удельной производительности сушильного устройства от влияющих факторов (уравнение (5)).

Проведено моделирование процесса конвективной сушки икорного сырья, результатом ко-

торого стало распределение температуры по глубине слоя в зависимости от его влажности (рис. 5).

Из вышеизложенного следует, что рекомендованные режимы конвективно-кондуктивного подвода тепла для удаления влаги из сазаньей икры можно использовать при производстве лецитинсодержащих пищевых продуктов, а разработанные режимные параметры сушки икорного продукта и результаты ее моделирования могут успешно использоваться при реализации технологии лецитина из сазаньей икры, так как позволяют сохранить в объекте обработки необходимый целевой компонент.

Список источников

1. Российский рынок рыбных товаров. URL: https://spravochnick.ru/marketing/rossiyskiy_rynok_rybnyh_tovarov (дата обращения: 23.10.2022).
2. Лебская Т.К., Менчинская А.А. Сравнительная характеристика пищевой ценности икры некоторых рыб // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1, № 2. С. 91–97.
3. Жане М.Р., Лисовая Е.В., Агафонов О.С. Инструментальный способ определения качества лецитинов // Науч. тр. Северо-Кавказского федер. науч. центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. Т. 26. С. 215–221.
4. Пищевые инновации и биотехнологии: технологии пищевых производств, качество и безопасность / под общ. ред. А.Ю. Просекова. Кемерово, 2019. Т. 1. 340 с.
5. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко [и др.]. М.: Пищевая промышленность, 1971. 440 с.
6. Алексанян И.Ю. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. М., 2001. 52 с.
7. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 320 с.
8. Максименко Ю.А. Развитие научно-практических основ и совершенствование процес-
9. сов сушки растительного сырья в диспергированном состоянии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Воронеж, 2016. 502 с.
9. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. для техникумов. М.: Химия, 1968. 847 с.

References

1. Rossijskij rynek rybnyh tovarov. URL: https://spravochnick.ru/marketing/rossiyskiy_rynok_rybnyh_tovarov (data obrascheniya: 23.10.2022).
2. Lebskaya T.K., Menchinskaya A.A. Sravnitel'naya harakteristika pischevoj cennosti ikry nekotoryh ryb // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2015. T. 1, № 2. S. 91–97.
3. Zhane M.R., Lisovaya E.V., Agafonov O.S. Instrumental'nyj sposob opredeleniya kachestva lecitinov // Nauch. tr. Severo-Kavkazskogo feder. nauch. centra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya. 2019. T. 26. S. 215–221.
4. Pischevye innovacii i biotehnologii: tehnologii pischevyh proizvodstv, kachestvo i bezopasnost' / pod obsch. red. A.Yu. Proseкова. Кемерово, 2019. Т. 1. 340 с.
5. Sushka pischevyh rastitel'nyh materialov / G.K. Filonenko [i dr.]. М.: Pischevaya promyshlennost', 1971. 440 s.
6. Aleksanyan I.Yu. Razvitie nauchnyh osnov processov vysokointensivnoj sushki produktov zhivotnogo i rastitel'nogo proishozhdeniya: avtoref, dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.18.12. М., 2001. 52 s.
7. Sazhin B.S. Osnovy tehniki sushki. М.: Himiya, 1984. 320 s.
8. Maksimenko Yu.A. Razvitie nauchno-prakticheskikh osnov i sovershenstvovanie processov sushki rastitel'nogo syr'ya v dispergirovannom sostoyanii: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.18.12. Voronezh, 2016. 502 s.
9. Planovskij A.N., Ramm V.M., Kagan S.Z. Processy i apparaty himicheskoy tehnologii: ucheb. dlya tehnikumov. М.: Himiya, 1968. 847 s.

Статья принята к публикации 09.12.2022 / The article accepted for publication 09.12.2022.

Информация об авторах:

Виолетта Эдуардовна Поликарпова¹, аспирант кафедры технологических машин и оборудования
Игорь Юрьевич Алексанян², профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, профессор

Зарема Михайловна Арабова³, научный сотрудник, кандидат технических наук

Альберт Хамед-Харисович Нугманов⁴, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, профессор

Ришад Абдулхакимович Хайбулов⁵, доцент кафедры технологических машин и оборудования, кандидат технических наук

Виктория Николаевна Саинова⁶, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, кандидат технических наук

Елена Викторовна Андреева⁷, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, кандидат технических наук

Information about the authors:

Violetta Eduardovna Polikarpova¹, Postgraduate Student at the Department of Technological Machines and Equipment

Igor Yurievich Aleksanyan², Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Doctor of Technical Sciences, Professor

Zarema Mikhailovna Arabova³, Researcher, Candidate of Technical Sciences

Albert Khamed-Kharisovich Nugmanov⁴, Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Doctor of Technical Sciences, Professor

Rishad Abdukhakimovich Khaibulov⁵, Associate Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Candidate of Technical Sciences

Victoria Nikolaevna Sainova⁶, Associate Professor at the Department of Life Safety and Engineering Ecology, Candidate of Technical Sciences

Elena Viktorovna Andreeva⁷, Senior Lecturer, Department of Life Safety and Engineering Ecology, Candidate of Technical Sciences

