

Научная статья
УДК [664.951.65.08:633/635]:664.956
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-119-124>
EDN PBLEXX

Разработка рациональных режимных параметров и производительность конвективной сушки рыборастительного фарша

И. Короба, Ю. А. Максименко, Н. В. Неповинных, И. Ю. Алексанян, О. И. Коннова✉

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, Okonnova88@gmail.com*✉

Аннотация. Представлены новые сведения по рациональной организации процесса сушки рыборастительного фарша с целью получения сухого рыборастительного пищевого концентрата на основе регионального сырья Республики Сьерра-Леоне, полученные в ходе экспериментально-аналитических исследований. В качестве сырья для производства сухого рыборастительного пищевого концентрата обосновано использование филе сардинеллы с добавлением кукурузной муки и измельченных бамии и моркови. С учетом недостаточного индустриального развития, отсутствия пищевого машиностроения и ограниченности использования для промышленных производств энергетических ресурсов в Республике Сьерра Леоне целесообразно рассматривать конвективную сушку как базовый и наиболее простой в организации вариант реализации стадии обезвоживания рыборастительного фарша. Исследован процесс конвективной сушки рыборастительного фарша и выполнен анализ закономерностей его протекания. Результаты комплексных исследований могут быть использованы для научного анализа динамики тепломассообменных процессов, их моделирования, автоматизации и оптимизации с целью энерго- и ресурсосбережения, а также при проектировании сушильной техники. Представлены математическая постановка и решение задачи рационализации сушильного процесса при конвективной сушке рыборастительного фарша. Для расчета рациональных параметров процесса сушки при эксплуатации, пуске/наладке и проектировании сушильной техники установлены функциональные зависимости удельной производительности сушилки и удельной влагонпряженности рабочей поверхности сушильной камеры от влияющих параметров. Для внедрения разработанных режимов на промышленных предприятиях при организации выпуска сухого рыборастительного пищевого концентрата в зависимости от производительности предприятия необходимо применять конвейерные сушилки или сушильные шкафы.

Ключевые слова: рыборастительный фарш, конвективная сушка, производительность сушильной камеры, пищевой концентрат

Для цитирования: Короба И., Максименко Ю. А., Неповинных Н. В., Алексанян И. Ю., Коннова О. И. Разработка рациональных режимных параметров и производительность конвективной сушки рыборастительного фарша // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 119–124. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-119-124>. EDN PBLEXX.

Original article

Development of rational operating parameters and productivity of convective drying of minced fish

I. Koroma, Yu. A. Maksimenko, N. V. Nepovinnykh, I. Yu. Aleksanyan, O. I. Konnova✉

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, Okonnova88@gmail.com*✉

Abstract. New information on the rational organization of the drying process of minced meat for the production of dry fish-growing food concentrate based on regional raw materials of the Republic of Sierra Leone, obtained during experimental and analytical studies, is presented. The use of sardinella fillets with the addition of corn flour and crushed okra and carrots is justified as a raw material for the production of dry fish-growing food concentrate. Taking into account the insufficient industrial development, the lack of food machinery and the limited use of energy resources for industrial production in the Republic of Sierra Leone, it is advisable to consider convective drying as the basic and easiest way to implement the dewatering stage of minced fish. The process of convective drying of minced fish is investigated and the patterns of its occurrence are analyzed. The results of comprehensive research can be used

for scientific analysis of the dynamics of heat and mass transfer processes, their modeling, automation and optimization for the purpose of energy and resource conservation, as well as in the design of drying equipment. The mathematical formulation and solution of the problem of rationalizing the drying process during convective drying of minced fish are presented. To calculate the rational parameters of the drying process during operation, commissioning and design of drying equipment, functional dependences of the specific productivity of the dryer and the specific moisture stress of the working surface of the drying chamber on the influencing parameters have been established. To implement the developed modes in industrial enterprises, when organizing the production of dry fish-growing food concentrate, depending on the productivity of the enterprise, convective conveyor dryers or drying cabinets must be used.

Keywords: minced fish, convective drying, drying chamber performance, food concentrate

For citation: Koroma I., Maksimenko Yu. A., Nepovinnykh N. V., Aleksanyan I. Yu., Konnova O. I. Development of rational operating parameters and productivity of convective drying of minced fish. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2025;1:119-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-119-124>. EDN PBLEXX.

Введение

Современные тенденции и направления организации питания в Республике Сьерра-Леоне свидетельствуют о необходимости создания новых продуктов питания, которые не только удовлетворяют потребности организма в необходимых питательных веществах, но и будут оказывать положительное влияние на здоровье. Востребованными пищевыми продуктами являются концентраты, изготовленные из рыбного и растительного сырья.

Анализируя современные тенденции в пищевой промышленности, нельзя не отметить растущую роль рыбперерабатывающей отрасли. Рыбпродукция все чаще рассматривается как основа для создания сбалансированного рациона, отвечающего современным требованиям здорового питания [1]. Согласно статистическим данным, за последние годы во всем мире в рационе питания человека потребление рыбы и морепродуктов стабильно растет, замещая традиционные мясные продукты.

Для расширения ассортимента рыбных продуктов и повышения их пищевой ценности активно используются технологии комбинирования рыбного сырья с растительным [2, 3]. Введение овощных наполнителей позволяет не только улучшить вкусовые качества готовых изделий, но и создать продукты с различными функциональными свойствами.

С учетом недостаточного индустриального развития, отсутствия пищевого машиностроения и ограниченности использования для промышленных производств энергетических ресурсов в Республике Сьерра-Леоне, целесообразно рассматривать конвективную сушку как базовый и наиболее простой в организации вариант реализации стадии обезвоживания рыборастительного фарша. Правильный подбор оборудования и рациональных режимных параметров процесса позволяет получить продукт с оптимальными характеристиками [4].

Целью данного исследования является разработка оптимальных режимов конвективной сушки рыборастительного фарша для создания нового функционального продукта питания, отвечающего потребностям населения Республики Сьерра-Леоне.

Объекты и методы исследований

С целью организации промышленного производства сухого рыборастительного концентрата были проведены исследования, направленные на изучение процесса конвективной сушки и диапазонов варьирования параметров, влияющих на удельную производительность промышленных сушильных установок для интенсификации процесса.

На рис. 1 представлена разработанная рецептура рыборастительного фарша, специально созданная для производства пищевого концентрата.

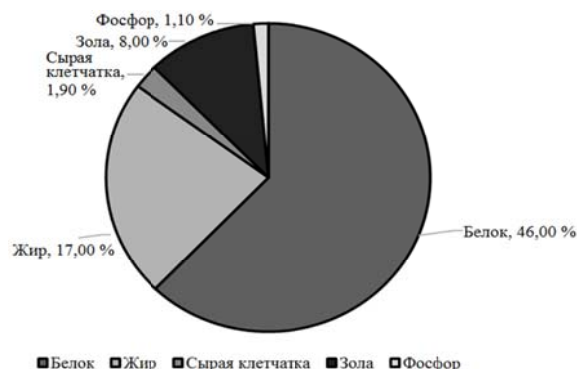


Рис. 1. Рецепт рыба растительного фарша для производства пищевого концентрата [5]

Fig. 1. Formulation of minced fish for the production of food concentrate [5]

Для изучения кинетики сушки был использован сушильный шкаф ПЭ-4610. В качестве образцов выступал рыборастительный фарш, изготовленный из филе сардинеллы, кукурузной муки, измельченной бамии и моркови (сырье из Сьерра-Леоне) согласно технологической инструкции 9268-065-00471704-2023. Начальная влажность фарша составляла 75 кг/кг. Высушивание фарша осуществлялось до влажности $W_k \leq 0,05$ кг/кг, которая обоснована при исследовании гигроскопических характеристик рыборастительного фарша.

Для оптимизации процесса сушки рыборастительного фарша, опираясь на результаты исследо-

ваний [6–9], в качестве критерия оптимизации была выбрана удельная производительность сушильной установки по сухому продукту (P). Этот показатель отражает массу готового продукта с влажностью 0,05 кг/кг, получаемую с единицы площади рабочей поверхности за час:

$$P = M / (S \cdot \tau),$$

где M – масса высушенного материала, кг; S – площадь рабочей поверхности сушилки, м²; τ – время сушки, ч.

Чтобы оценить эффективность и целесообразность различных режимов сушки рыбораствительного фарша, была исследована зависимость влагонпряженности от таких параметров, как температура сушильного агента, скорость воздуха и толщина слоя материала. Влагонпряженность B , кг/(м²·ч), характеризующая интенсивность процесса сушки:

$$B = \Pi - P = P \cdot (W_n - W_k) / (1 - W_n),$$

где Π – производительность по исходному материалу (рыбораствительный фарш), кг/ч; W_n – начальная влажность, кг/кг; W_k – конечная влажность, кг/кг.

Для проведения экспериментальных исследований сушки рыбораствительного фарша были выбра-

ны следующие режимные параметры:

– характеристики рыбораствительного фарша: начальная влажность $W_n = 0,75$ кг/кг и исходная температура $T_{\text{прод}} = 278 \pm 5$ К;

– характеристики высушенного продукта: конечная влажность $W_k \leq 0,05$ кг/кг, температура 323–328 К;

– исходная толщина слоя высушиваемого продукта $H = 4–6$ мм (уровни варьирования: 4–6 мм);

– конвективный энергоподвод реализуется за счет подачи в сушильную камеру нагретого воздуха с исходной температурой $T_{\text{с.а}} = 333–373$ К (исходный сушильный агент) при удельном расходе воздуха $Q_{\text{с.а}} \geq 40$ кг/кг на 1 кг испаренной влаги (уровни варьирования: 333, 353, 373 К), температура отработавшего сушильного агента – воздуха на выходе сушильной установки – 323–333 К.

– время сушки (длительность рабочего цикла) составляет $\tau_c = 110–200$ мин;

– режим работы – автоматический.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментального определения времени сушки τ_c по кривым сушки до влажности $W_k = 0,05$ кг/кг и численные значения рассчитанных параметров процесса сушки представлены в таблице.

Технологические параметры процесса сушки рыбного фарша

Technological parameters of the minced fish drying process

| № эксперимента | $T_{\text{с.а}}, \text{К}$ | $H, \text{мм}$ | $\tau_c, \text{мин}$ | $\tau_c, \text{ч}$ | $M, \text{кг}$ | $\Pi, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ | $B, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ | $P, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ |
|----------------|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------------|--|--|--|
| 1 | 333 | 4 | 140 | 2,333 | 3,8 | 1,000 | 0,571 | 0,428571 |
| 2 | 353 | | 125 | 2,0833 | | | 0,520 | 0,48 |
| 3 | 373 | | 105 | 1,75 | | | 0,429 | 0,571429 |
| 4 | 333 | 5 | 165 | 2,75 | 4,75 | 1,250 | 0,795 | 0,454545 |
| 5 | 353 | | 140 | 2,333 | | | 0,714 | 0,535714 |
| 6 | 373 | | 120 | 2 | | | 0,625 | 0,625 |
| 7 | 333 | 6 | 195 | 3,25 | 5,7 | 1,500 | 1,038 | 0,461538 |
| 8 | 353 | | 170 | 2,833 | | | 0,971 | 0,529412 |
| 9 | 373 | | 150 | 2,5 | | | 0,900 | 0,6 |

Установлены эмпирические аппроксимирующие функциональные зависимости удельных производительности и влагонпряженности рабочей

поверхности сушильной камеры от влияющих параметров, а также для анализа построены поля значений данных параметров процесса (рис. 2, 3):

$$P(H, T_{\text{с.а}}) = (0,00001655075 \cdot H^2 - 0,00018881065 \cdot H + 0,0005404306) \cdot T_{\text{с.а}}^2 + (-0,01242969455 \cdot H^2 + 0,14069403665 \cdot H - 0,3956296052) \cdot T_{\text{с.а}} + (2,2943040294 \cdot H^2 - 25,8027231964 \cdot H + 71,9517640295); \quad (1)$$

$$B(W_n, T_{\text{с.а}}) = \frac{(W_n - W_k)}{(1 - W_n)} \cdot P(H, T_{\text{с.а}}); \quad (2)$$

$$\Pi(H, T_{\text{с.а}}) = P(H, T_{\text{с.а}}) + B(H, T_{\text{с.а}}). \quad (3)$$

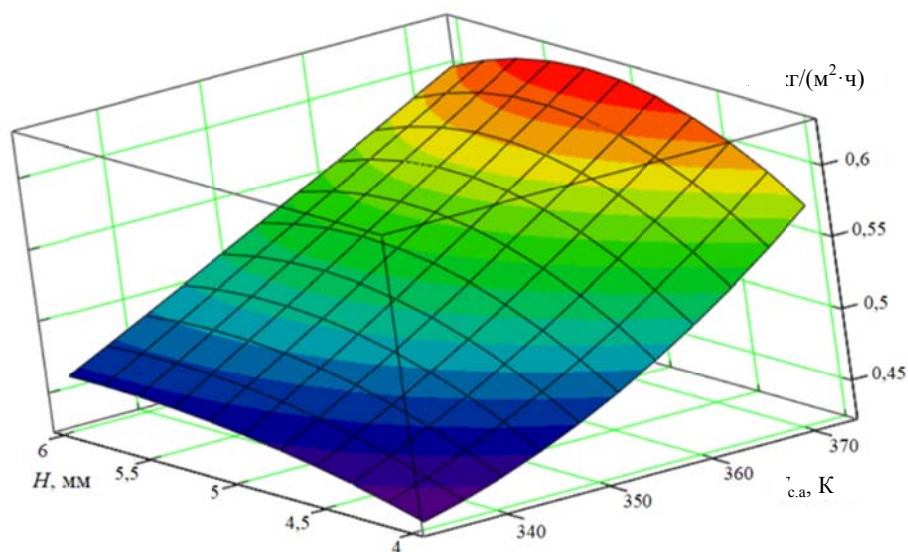


Рис. 2. Область значений удельной производительности рабочей поверхности сушильной камеры по высушенному продукту

Fig. 2. The range of values of the specific productivity of the working surface of the drying chamber for the dried product

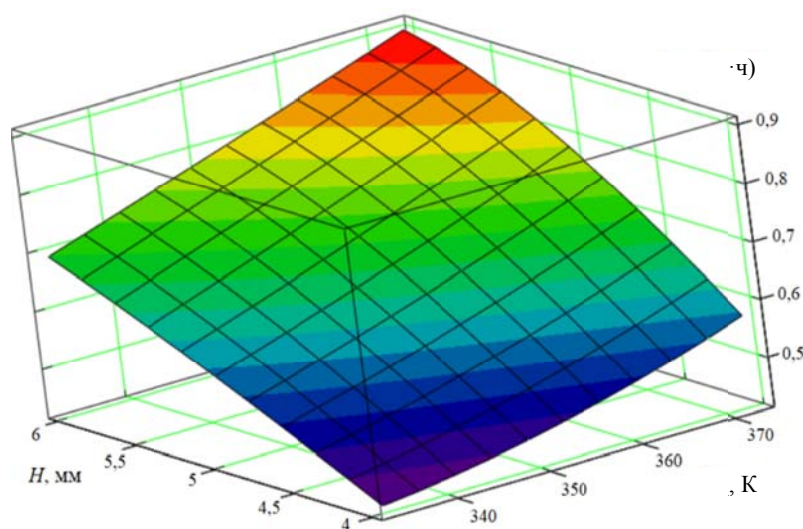


Рис. 3. Область значений влагонапряженности рабочей поверхности сушильной камеры

Fig. 3. The range of moisture stress values of the working surface of the drying chamber

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что повышение температуры сушильного агента $T_{с.а}$ оказывает положительное влияние на скорость удаления влаги из рыборастительного фарша, что, в свою очередь, ведет к увеличению производительности процесса P (см. рис. 2, 3). Экспериментально установлено, что варьирование температуры сушильного агента в пределах 333–373 К при начальной температуре продукта 278 ± 5 К обеспечивает получение сухого продукта требуемого качества с производительностью, соответствующей про-

мышленным установкам. Перегрев материала исключается.

Увеличение начальной толщины слоя материала ($H = 4-6$ мм) приводит к увеличению площади контакта материала с теплоносителем, что способствует интенсификации процесса сушки и, как следствие, росту производительности P . Анализ результатов предварительных экспериментов показал, что толщина слоя фарша оказывает существенное влияние на качество конечного продукта. Для предотвращения нежелательных эффектов, таких как подгора-

ние, был определен оптимальный диапазон толщины слоя, в пределах которого обеспечиваются равномерная сушка и высокое качество продукта.

На основе выполненных исследований и с использованием полученных аппроксимирующих зависимостей (2) и (3) установлено, что внедрение разработанных режимов сушки позволит существенно увеличить количество производимого сухого продукта с единицы площади сушильной камеры: $P = 0,423-0,625 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; удельная влагонапряженность рабочей поверхности сушильной камеры $V = 0,429-1,038 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; удельная производительность по исходному рыборастительному фаршу, подаваемого в зону сушки, $\Pi = 1-1,5 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$.

Установленные зависимости (1)–(3) позволяют оперативно определять производительность технологических промышленных установок для сушки рыборастительного фарша при изменении технологических режимов на производстве.

Высокая гигроскопичность сухого рыборастительного концентрата обуславливает необходимость разработки специальных технологических решений для фасовки, упаковки и транспортировки с целью предотвращения поглощения влаги из окружающей среды.

С целью предотвращения поглощения влаги из

воздуха и сохранения качества продукта измельченный сухой концентрат необходимо упаковывать в герметичные контейнеры и хранить в складских помещениях с контролируемыми параметрами микроклимата.

Заключение

Целью данного исследования была разработка оптимальных режимов конвективной сушки рыборастительного фарша для создания нового функционального продукта питания, отвечающего потребностям населения Республики Сьерра-Леоне. В результате проведенных исследований определены оптимальные параметры процесса сушки, установлены значения температуры, скорости воздушного потока и толщины слоя материала, обеспечивающие максимальную производительность и высокое качество конечного продукта, разработаны математические модели, определены требования к упаковке и хранению. Полученные результаты открывают перспективы для создания новых видов пищевых продуктов на основе рыбного и растительного сырья, адаптированных к потребностям населения Сьерра-Леоне. Разработанные режимы сушки могут быть использованы для организации промышленного производства сухих рыборастительных концентратов.

Список источников

1. Абрамова Л. С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. 175 с.
2. Григоренко С. П., Эксюзьян Т. Н. Рыборастительные фарши как multifunctional продукты питания // Изв. высш. учеб. заведений. Пищевая технология. 2004. № 2-3 (279–280). С. 126–127.
3. Дряхлов А. О. Формирование улучшенных потребительских свойств рыборастительных фаршей и кулинарных изделий на их основе: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 213 с.
4. Алексанян И. Ю. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения: дис. ... д-ра техн. наук. Астрахань, 2001. 266 с.
5. Золотокопова С. В., Короба И. В., Неваленная А. А., Миронов А. И. Влияние растительных ингредиентов на качество сухих рыборастительных пищевых концентратов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий. 2024. Т. 86. № 1 (99). С. 207–211. DOI: 10.20914/2310-

1202-2024-1-207-211.

6. Цибизова М. Е., Аверьянова Н. Д., Язенкова Д. С. Влияние предварительной технологической обработки на структурно-механические характеристики фаршевых систем из рыбного сырья // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 168–175.
7. Алексанян А. И. Совершенствование процессов получения замороженных рыбных фаршевых гранулированных смесей: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2018. 215 с.
8. Нугманов А. Х. Х., Максименко Ю. А., Алексанян А. И., Алексанян О. А. Исследование физико-химических свойств рыбных фаршей, сухих растительных премиксов и их смесей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 135–148. DOI: 10.24143/2073-5529-2018-2-135-148.
9. Шокун Ю. Г. Разработка основ рациональной сушки рыбных фаршей при производстве пищевой крупки: дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 1983. 185 с.

References

1. Abramova L. S. *Polikomponentnye produkty pitaniya na osnove rybnogo syr'ya* [Polycomponent food products based on fish raw materials]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2005. 175 p.
2. Grigorenko S. P., Eksuz'yan T. N. *Ryborastitel'nye farshi kak mnogofunkcional'nye produkty pitaniya* [Fish-growing minced meat as multifunctional food products]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*, 2004, no. 2-3 (279-280), pp. 126-127.
3. Dryahlov A. O. *Formirovanie uluchshennyh potrebi-*

tel'skih svoystv ryborastitel'nyh farshej i kulinarnyh izdelij na ih osnove. Dissertaciya ... kand. tekhn. nauk [Formation of improved consumer properties of minced fish and culinary products based on them. Dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2013. 213 p.

4. Aleksanyan I. Yu. *Razvitie nauchnyh osnov processov vysokointensivnoj sushki produktov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Dissertaciya ... d-ra tekhn. nauk* [Development of the scientific foundations of the processes

of high-intensity drying of animal and vegetable products. Dissertation ... Doctor of Technical Sciences]. Astrahan', 2001. 266 p.

5. Zolotokopova S. V., Koroma I. V., Nevalennaya A. A., Mironov A. I. Vliyanie rastitel'nyh ingredientov na kachestvo suhikh ryborastitel'nyh pishchevyh koncentratov [The effect of herbal ingredients on the quality of dry fish-growing food concentrates]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*, 2024, vol. 86, no. 1 (99), pp. 207-211. DOI: 10.20914/2310-1202-2024-1-207-211.

6. Cibizova M. E., Aver'yanova N. D., Yazenkova D. S. Vliyanie predvaritel'noj tekhnologicheskoy obrabotki na strukturno-mekhanicheskie harakteristiki farshevyh sistem iz rybnogo syr'ya [The effect of pre-processing on the structural and mechanical characteristics of minced fish systems]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*, 2010, no. 1, pp. 168-175.

7. Aleksanyan A. I. *Sovershenstvovanie processov poluche-*

niya zamorozhennyh rybnyh farshevyh granulirovannyh smesey: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Improvement of processes for obtaining frozen minced fish granulated mixtures. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Astrakhan, 2018. 215 p.

8. Nugmanov A. H. H., Maksimenko Yu. A., Aleksanyan A. I., Aleksanyan O. A. Issledovanie fiziko-himicheskikh svoystv rybnyh farshej, suhikh rastitel'nyh premiksov i ih smesey [Investigation of physico-chemical properties of minced fish, dried vegetable premixes and their mixtures]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*, 2018, no. 2, pp. 135-148. DOI: 10.24143/2073-5529-2018-2-135-148.

9. Shokun Yu. G. *Razrabotka osnov racional'noj sushki rybnyh farshej pri proizvodstve pishchevoj krupki. Dissertaciya ... kand. tekhn. nauk* [Development of the basics of rational drying of minced fish in the production of food grains. Dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Vladivostok, 1983. 185 p.

Статья поступила в редакцию 30.10.2024; одобрена после рецензирования 10.02.2025; принята к публикации 04.03.2025
The article was submitted 30.10.2024; approved after reviewing 10.02.2025; accepted for publication 04.03.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Ибрахим Корома – соискатель кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; ibrahimkoroma@yandex.ru

Юрий Александрович Максименко – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; amxs1@yandex.ru

Наталья Владимировна Неповинных – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; nnepovinnikh@yandex.ru

Игорь Юрьевич Алексанян – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; 16081960igor@gmail.com

Ольга Ивановна Коннова – ассистент кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; Okonnova88@gmail.com

Ibrahim Koroma – Applicant of the Department of Technology of Goods and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; ibrahimkoroma@yandex.ru

Yuri A. Maksimenko – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; amxs1@yandex.ru

Nataliia V. Nepovinnikh – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; nnepovinnikh@yandex.ru

Igor Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; 16081960igor@gmail.com

Olga I. Konnova – Lecturer of the Department of Technology of Goods and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; Okonnova88@gmail.com

