Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 76, № 2. С. 86–93

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.959.5 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-08 EDN: JECECA

Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки

Татьяна Ивановна Ткаченко [1], Анастасия Евгеньевна Кунякина [2], Валерий Викторович Чуприн [3]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] tkachenko.ti@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9210-2172
[2] kunyakinaae@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1811-1890
[3] chuprin.vv@dgtru.ru

Аннотация. Производство рыбной муки как продукта, востребованного в животноводстве и птицеводстве, является актуальным направлением, поскольку позволяет эффективно решать проблему переработки рыбных отходов, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов. В процессе варки сырья, осуществляемой при производстве рыбной муки прессово-сушильным способом, необходимо снижать окислительные процессы, негативно влияющие на качество готового продукта. На базе ООО «Русский минтай» была проведена модернизация варочного котла, которая позволила управлять скоростью и температурой варки рыбных отходов, что в свою очередь способствовало качественному снижению кислотности в готовом продукте. В результате оптимизации технологического процесса варки увеличилась стабильность подсистем С2 и А. Как следствие, возросло численное значение целостности всего технологического потока производства кормовой рыбной муки, отражающего меру организованности и системности используемых технологий, а также целесообразность модернизации технологического оборудования.

Ключевые слова: рыбная мука, рыбные отходы, варка, варочный котел, оптимизация, кислотность, качество готовой продукции

Для цитирования: Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В. Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 86–93.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 86–93.

FOOD SYSTEMS

Original article

Optimization of the technological flow of fodder fish flour production

Tatyana I. Tkachenko [1], Anastasia E. Kunyakina [2], Valeriy V. Chuprin [3]

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] tkachenko.ti@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9210-2172
[2] kunyakinaae@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1811-1890
[3] chuprin.vv@dgtru.ru

© Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В., 2026

Abstract. The production of fish meal, as a product in demand in animal husbandry and poultry farming, is an actual direction, as it allows to effectively solve the problem of processing fish waste, ensuring the rational use of natural resources. In the process of cooking raw materials, carried out in the production of fish meal by the pressing-drying method, it is necessary to reduce the oxidation processes that negatively affect the quality of the finished product. In order to reduce the total acidity of fish meal, which is largely dependent on the temperature of the fish waste cooking process, the Russian Pollock LLC upgraded its cooking boiler to allow for control of steam pressure, as well as the speed and temperature of cooking, which ultimately led to a significant reduction in the acidity of the final product, fish meal. As a result of optimizing the cooking process, the stability of the C2 and A subsystems increased. Consequently, the overall integrity of the technological process was improved.

Keywords: fish meal, fish waste, cooking, cooking pot, optimization, acidity, quality of finished products

For citation: Tkachenko T. I., Kunyakina A. E., Chuprin V. V. Optimization of the technological flow of fodder fish flour production. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 76(2): 86–93. (in Russ.).

Введение

Реализуемая в настоящее время в России стратегия развития рыбохозяйственного комплекса направлена на обеспечение устойчивого роста отрасли, повышение эффективности использования водных биоресурсов и развитие экспортного потенциала [7]. Основными задачами этой стратегии являются: обеспечение продовольственной безопасности (увеличение объема производства качественной рыбной продукции для внутреннего потребления; развитие аквакультуры и увеличение доли выращиваемой рыбы в общем объеме производства); повышение конкурентоспособности (модернизация перерабатывающих мощностей и внедрение передовых технологий; поддержка экспорта рыбной продукции и расширение рынков сбыта); устойчивое использование ресурсов (рациональное использование водных биоресурсов, соблюдение квот и норм вылова; сохранение экосистем водоемов и предотвращение негативного воздействия на окружающую среду).

В свете вышеизложенного, производство рыбной муки является актуальным направлением, поскольку позволяет эффективно решать проблему переработки рыбных отходов, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов. Этот процесс способствует уменьшению загрязнения окружающей среды, снижая нагрузку на морские экосистемы. Рыбная мука обладает высоким содержанием белка и микроэлементов, востребованных в животноводстве и птицеводстве, что повышает её экономическую значимость. Таким образом, организация экологически чистого способа переработки рыбных отходов является важным фактором устойчивого развития отрасли и сохранения природы [4, 7, 8].

При изготовлении кормовой муки важно контролировать ряд показателей, которые влияют на качество готового продукта, его питательность и безопасность: содержание белка, жира, влаги, кислотность, микробиологическую чистоту, содержание тяжелых металлов. Кислотность является одним из важных показателей рыбной муки, так как её повышение может приводить к ряду негативных последствий: отсутствие стабильности при хранении, а также снижение общей питательной ценности продукта и усвояемости питательных веществ [3, 4].

Объекты и методы исследования

Как известно, «одним из наиболее эффективных способов производства рыбной муки, при больших объёмах, является прессово-сушильный способ, основными достоинствами которого являются: высокое качество продукта, минимальные потери питательных веществ и стабильность качества готового продукта» [2]. Составлена структурная схема процессов производства рыбной муки прессово-сушильным методом, которая представлена на рис. 1.

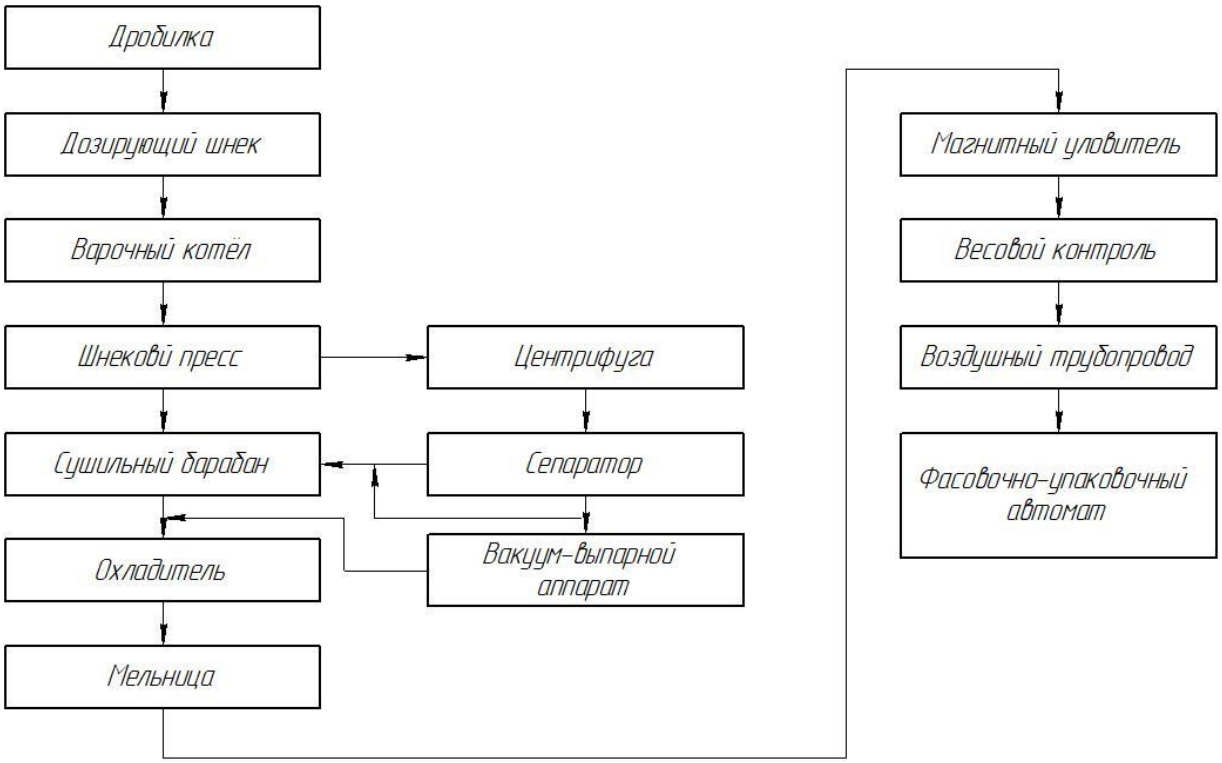

Рис. 1. Структурная схема процессов (технологического оборудования) производства рыбной муки прессово-сушильным методом. Составлено авторами
Fig. 1. Structural diagram of the processes (process equipment) for the production of fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Основной особенностью производства кормовой рыбной муки прессово-сушильным способом является процесс варки сырья, осуществляемый при высоких температурах. Основными рисками такой термической обработки рыбного сырья являются: разрушение витаминов и биологически активных веществ; в процессе окисления могут образовываться вредные вещества (полициклические ароматические углеводороды, акриламид и гетероциклические амины).

Проведенные ранее исследования показали, что «величина общей кислотности кормовой рыбной муки зависит от температурного режима варки рыбных отходов. В связи с этим на базе ООО «Русский минтай» была проведена модернизация конструкции варочного котла, которая позволила управлять давлением пара, скоростью и температурой варки измельченного рыбного сырья» [9].В результате анализа структурной схемы производства рыбной муки прессово-сушильным методом были составлены расчетная схема (рис. 2) и операторная модель (рис. 3) получения готового продукта. Операторные модели технологического потока производства рыбной муки до и после модернизации варочного котла не имеют принципиального отличия, ввиду того, что изменились только технологические параметры процесса варки. Вследствие этого операторная модель представлена одной схемой.

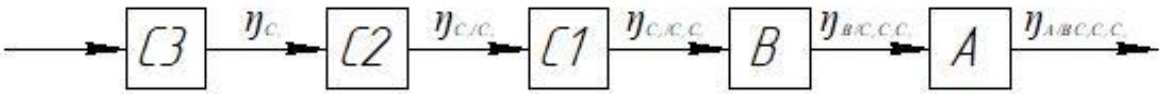

Рис. 2. Расчётная схема производства рыбной муки прессово-сушильным методом. Составлено авторами
Fig. 2. Calculation scheme for the production of fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Рассматриваемая расчетная схема производства рыбной муки прессово-сушильным методом состоит из пяти подсистем. Для получения подробной картины проходящих процессов,

благодаря которым из исходного сырья получается готовый продукт, необходимо построить операторную модель:

А – подсистема получения очищенной кормовой рыбной муки, содержащая операторы: I – хранение; II – упаковка и маркировка.

В – подсистема получения неочищенной кормовой рыбной муки, которая соответствует заданным показателям, содержащая операторы: I – просеивание от мелкого не металлического мусора; II – охлаждение; III – измельчение, отчистка от металлических изделий; IV – сушка, внесение антиокислителя.

C_1 – подсистема получения прессованного жома, содержащая оператор: I – прессование.

C_2 – подсистема получения разваренной рыбной массы, содержащая оператор: I – разваривание.

C_3 – подсистема получения измельченных рыбных отходов, содержащая операторы: I – дозирование; II – дробление; III – приём сырья.

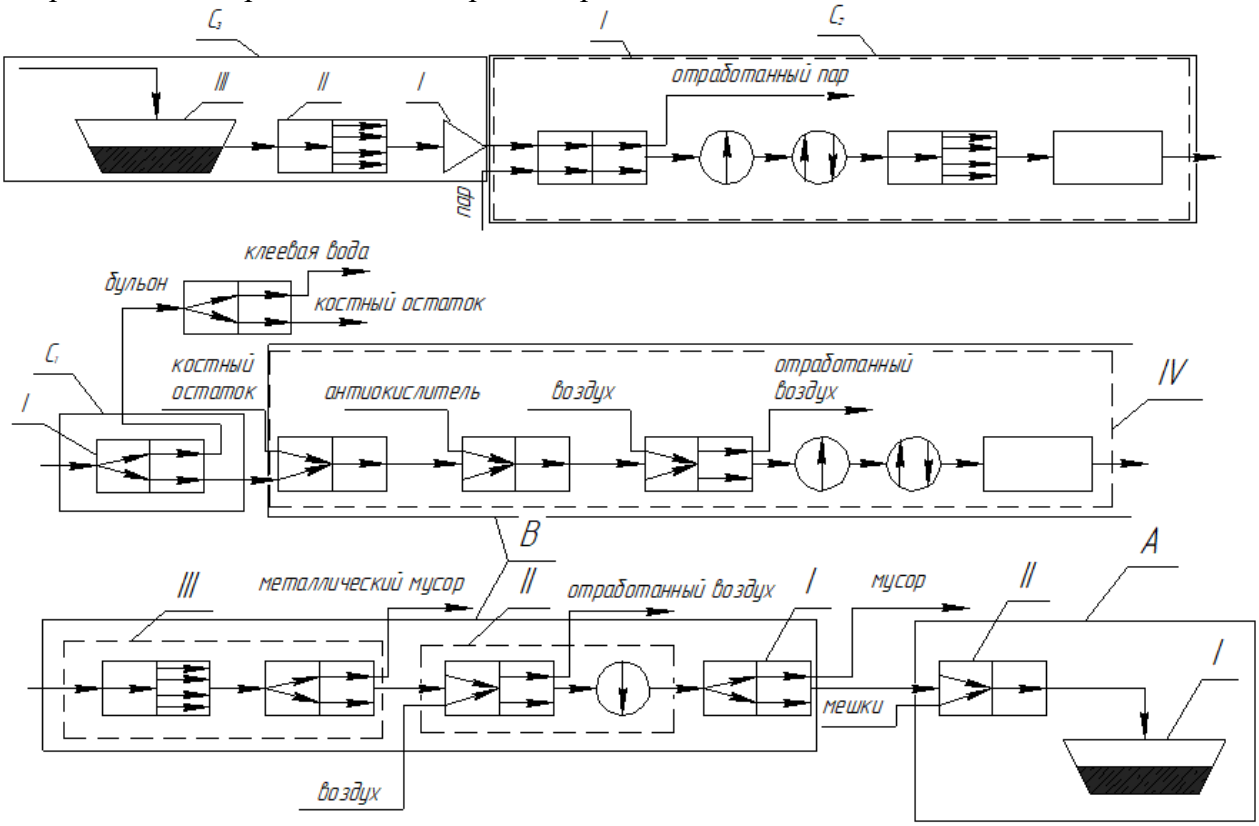

Рис. 3. Операторная модель линии производства рыбной муки прессово-сушильным методом. Составлено авторами

Fig. 3. Operator model of a fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Для анализа целесообразности проведенной модернизации варочного котла необходимо рассчитать численное значение уровня целостности технологического потока. Оценка уровня целостности технологической линии производства рыбной муки прессово-сушильным способом зависит непосредственно от состояния всех её составляющих подсистем. Анализируя «степень соответствия фактических показателей установленным нормам, можно определить уровень целостности всей производственной системы. При этом стабильность каждой подсистемы определяют экспериментально за определенный период» [5]. Для определения уровня целостности технологического потока производился отбор проб на выходе каждой из подсистем (каждой стадии производства) в течение одной смены (12 ч). Все параметры технологического процесса, параметры исходного сырья и готовой продукции соответствовали установленным нормативным документам [1].

Уровень целостности производственной системы за одну смену можно рассчитать по формуле [5]

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = \eta_{C_3} + \eta_{C_3/C_2} + \eta_{C_3/C_1C_2} + \eta_{B/C_1C_2C_3} + \eta_{A/BC_1C_2C_3} - 4, \quad (1)$$

где η_{C3}, $\eta_{C3/C2}$, $\eta_{C3/C1C2}$, η_{C3}, $\eta_{B/C1C2C3}$, $\eta_{A/BC1C2C3}$ – стабильность соответственно: подсистемы C_3; C_3 относительно C_2; подсистемы B относительно C_1, C_2 и C_3; подсистемы A относительно B, C_1, C_2, и C_3.

Энтропия, соответствующая распределению значений величины показателя качества промежуточного продукта, для случая с двумя возможными результатами рассчитывается по формуле

$$H = -P \cdot \log_2 \cdot P - (1-P) \cdot \log_2 (1-P). \quad (2)$$

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,7577 + 0,6725 + 0,7136 + 0,8313 - 4 = -0,2672.$$

Таблица 1

Контролируемые параметры целостности подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом

Table 1

Controlled parameters of the integrity of the subsystems of the technological flow of fish meal production by the pressing-drying method

Подсистема	Выход подсистемы	Контролируемый параметр	Нормативное значение [1]	Поле допуска [1]
A	Готовая продукция	Кислотное число жира	Не более 55 мг КОН на 1 г	+/-0,4
B	Мука неочищенная	Степень загрязненности. Металломагнитная примесь размером не более 2 мм, по ГОСТ 7636	100,0 мг/кг,	Не более указанного значения
C_1	Жом прессованный	Массовая доля влаги	92–95 %	+/-5 %
C_2	Разваренная масса	Температура в измельченной массе	88–92 °С	Не более 95 °С
C_3	Измельченные рыбные отходы	Размеры кусков, подаваемые с производства	От 5 до 35 мм	Не более 70 мм

Как видно из табл. 1, основным контролируемым параметром готовой продукции (подсистема A) является кислотное число: повышение этого показателя указывает на процессы окисления жиров и белков, а следовательно, на снижение пищевой ценности муки. Кроме того, при повышении кислотности снижается содержание незаменимых аминокислот, витаминов и минералов, что ведет к потери питательных веществ готового продукта. Окислительные процессы также приводят к образованию перекисей липидов и свободных радикалов, которые являются токсичными веществами. Контролируемый параметр окончательного полуфабриката (подсистемы B) – степень загрязненности кормовой муки примесями. Примеси в рыбной муке могут содержать токсичные вещества и тяжелые металлы, негативно влияющие на качество готового продукта. Основными контролируемыми параметрами промежуточного полуфабриката (подсистемы C_3, C_2, C_1) являются, соответственно, размеры кусков рыбных отходов, подаваемых в варильник (при подаче больших кусков увеличивается их время нагрева, что увеличивает время процесса варки, повышает энергозатраты и ухудшает экстракцию ценных питательных веществ); температурный режим варки измельченных рыбных отходов (необходи-

мая температура позволяет эффективно выделить жировые компоненты, а также при избыточной температуре образуется излишне сухая масса, трудно поддающаяся переработке) и массовая доля влаги в рыбном жоме (высокое содержание влаги создает благоприятные условия для развития патогенных микроорганизмов, плесени и грибков, что существенно ухудшает санитарно-эпидемиологическое состояние продукта, а также высокая влажность снижает пищевую ценность продукта, так как содержание влаги обратно пропорционально концентрации сухих веществ, таких как белок, минеральные соли и аминокислоты).

Таблица 2

Результаты расчетов стабильности функционирования подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом за одну смену (12 ч) до модернизации варочного котла

Table 2

Results of calculations of the stability of the functioning of the subsystems of the technological flow of the production of fish meal by the pressing-drying method, for one shift (12 hours) before the modernization of the cooking boiler

Подсистема	Объем выборки	Число проб в пределе допуска, шт.	Число проб за пределом допуска, шт.	Pi	1- Pi	- Pi· log2 Pi	-(1-Pi)log2(1--Pi)	Hi, бит	ηi
A	80	69	11	0,86	0,140	0,187129	0,39711	0,584239	0,15761
B	80	76	4	0,95	0,050	0,070301	0,21610	0,286400	0,71360
C_1	80	75	5	0,94	0,0625	0,086615	0,2500	0,327500	0,67250
C_2	80	62	18	0,78	0,220	0,279594	0,48057	0,760168	0,23983
C_3	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,17764	0,242300	0,75770

Подставляя значения из табл. 2 в уравнение (1), получаем

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,23983 + 0,6725 + 0,7136 + 0,15761 - 4 = -1,45876 .$$

Таблица 3

Результаты расчетов стабильности функционирования подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом за одну смену (12 ч) после модернизации варочного котла

Table 3

Results of calculations of the stability of the functioning of the subsystems of the technological flow of the production of fish meal by the pressing-drying method, for one shift (12 hours) after the modernization of the cooking boiler

Подсистема	Объем выборки	Число проб в пределе допуска, шт.	Число проб за пределом допуска, шт.	Pi	1- Pi	- Pi· log2 Pi	-(1-Pi)log2(1--Pi)	Hi, бит	ηi
A	80	78	2	0,98	0,025	0,035613	0,133048	0,1687	0,8313
B	80	76	4	0,95	0,050	0,070301	0,216096	0,2864	0,7136
C_1	80	75	5	0,94	0,0625	0,086615	0,250000	0,3275	0,6725
C_2	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,177636	0,2423	0,7577
C_3	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,177636	0,2423	0,7577

Подставляя значения из табл. 3 в уравнение (1), получаем

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,7577 + 0,6725 + 0,7136 + 0,8313 - 4 = -0,2672.$$

Анализируя полученные данные, можно сказать, что в технологической системе производства рыбной муки прессово-сушильным методом наибольшее значение в изменении (понижении) уровня целостности имеют подсистемы C_2 и А, для которых стабильность в течение смены составила, соответственно, 0,239 и 0,158 (до модернизации варочного котла); 0,758 и 0,831 (после модернизации варочного котла).

Заключение

Исследование технологических потоков производства рыбной муки прессово-сушильным методом (до и после модернизации варочного котла) как систем позволило оценить уровень их целостности в течение одной смены. Полученные расчетные данные позволили сделать вывод: изменения конструкции варочного котла дали возможность оптимизировать технологические параметры процесса варки, а следовательно – увеличить стабильность подсистем C_2 и А. Уровень целостности технологического потока производства кормовой рыбной муки, фактором которого является стабильность работы линии, вырос после модернизации варочного котла, о чем свидетельствуют полученные расчеты уровней целостности отдельных подсистем. Это в свою очередь подтверждает значимость и целесообразность проведенной модернизации технологического оборудования – варочного котла.

Список источников

1. ГОСТ Р 59296-2021. Мука кормовая животного происхождения для производства кормов для непродуктивных животных. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2021. 23 с.

2. Курочкин, А. А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств : учебник / А. А. Курочкин, В. М. Зимняков. М. : Колосс, 2006. 320 с.

3. Куликов П. И. Производство муки, жира и белково-витаминных препаратов в рыбной промышленности. М. : Пищ. пром-сть, 1991. 341 с.

4. Лагунов Л. Л. Развитие производства кормовых продуктов из рыбы и рыбных отходов. М. : Пищепромиздат, 1994. 112 с.

5. Панфилов В. А. Теория технологического потока. М. : КолосС, 2007. 319 с.

6. Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя / К. Б. Плотников [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 96–105.

7. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение от 8 сентября 2022 г. № 2567-р, Правительство Российской Федерации.

8. Технологические проблемы развития производства кормовых продуктов из гидробионтов / В. Н. Акулин, Ю. П. Никулин, Б. И. Покровский, А. П. Ярочкин // Рыбное хозяйство. 2014. № 1. С. 113–116.

9. Чуприн В. В. Разработка варочной машины на ООО «Русский минтай» // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 24 ноября 2023 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2024. С. 251–255.

Сведения об авторах

Т. И. Ткаченко – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», SPIN-код: 5932-9472, AuthorID: 214372.

А. Е. Кунякина – аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», SPIN-код: 8531-8012, AuthorID: 1240838.

В. В. Чуприн – доцент кафедры «Технологические машины и оборудование».

Information about the authors

T. I. Tkachenko – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 5932-9472, AuthorID: 214372.

A. E. Kunyakina – Postgraduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 8531-8012, AuthorID: 1240838.

V. V. Chuprin – Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment.

Статья поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 24.04.2026; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 24.04.2026; accepted for publication 12.05.2026.

© Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В., 2026.

«Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки» [Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).