

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

УДК 639.3.043.2(476)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-79-89>

Поступила в редакцию 15.07.2019

Received 15.07.2019

В. Ю. Агеец¹, З. В. Ловкис², Ж. В. Кошак¹, А. Э. Кошак¹¹*Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь*²*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь***СЫРЬЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ
ДЛЯ ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация: В статье рассмотрены проблемы производства отечественных комбикормов для ценных видов рыб. В Республике Беларусь выращиваются следующие представители ценных видов рыб: радужная форель, стерлядь, осетр, европейский и африканский сом. Все эти виды нуждаются в качественных и недорогих комбикормах, производство которых у нас в стране только развивается. В современном мире все комбикорма для ценных видов рыб являются экструдированными. Изучен ряд сырьевых компонентов, которые могут быть использованы в составе комбикормов для ценных видов рыб, такие как рыбная мука белорусского производства, сухой гемоглобин, соевый концентрат, сывороточно-жировой концентрат. Установлено, что белорусская рыбная мука является качественной и не уступает по сбалансированности аминокислотного состава импортной рыбной муке производства Мавритании, а по содержанию лейцина и изолейцина превосходит импортную в 2 раза и более. Изучен аминокислотный состав сухого гемоглобина. Установлено, что данная кормовая добавка может быть использована только в качестве балансировки комбикорма по содержанию сырого протеина и практически не содержит такой важной незаменимой аминокислоты, как метионин. Ценные виды рыб являются хищными рыбами, по этой причине комбикорма содержат высокое количество протеина (до 50 %) и жира (до 30 %) в зависимости от вида и возраста рыб. Поэтому по содержанию протеина и отсутствию антипитательных веществ в составе комбикормов может использоваться соевый белковый концентрат, а по балансировке рецепта по содержанию жира – сывороточно-жировой концентрат. В то же время отмечается необходимость развития подобных производств глубокой переработки в нашей республике. **Благодарности.** Исследования выполнены в рамках отдельного проекта научных исследований Национальной академии наук Беларуси «Исследование основных технологических операций производства комбикормов для пресноводных видов рыб с разработкой лабораторного оборудования для отработки технологического процесса».

Ключевые слова: комбикорм для ценных видов рыб, экструдированный комбикорм, животный протеин, растительный протеин, рыбная мука, гемоглобиновая мука, бобовые культуры, лабораторная линия

Для цитирования: Проблемы производства комбикормов для ценных видов рыб / В. Ю. Агеец, З. В. Ловкис, Ж. В. Кошак, А. Э. Кошак // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 79–89. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-79-89>

Vladimir Yu. Ageyets¹, Zenon V. Lovkis², Zhanna V. Koshak¹, Artur E. Koshak¹¹*Fish Industry Institute, the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*²*The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs, Minsk, Belarus***RAW MATERIALS AND FEED PRODUCTION TECHNOLOGY FOR VALUABLE FISH SPECIES
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract: The paper raises problems of production of domestic compound feed for valuable fish species. The following representatives of valuable fish species are reared in the Republic of Belarus: rainbow trout, sterlet sturgeon, sturgeon, European and African catfish. All these types need high-quality and inexpensive compound feeds. Production of such feed is developing in our country. All the feeds for valuable fish species are extruded in the modern world. A range of raw materials has been studied that can be used as part of compound feeds for valuable fish species, such as Belarusian made fish meal, dry hemoglobin, soy concentrate, and whey fat concentrate. It has been determined that Belarusian fishmeal is of high quality and not inferior in balance to the amino acid composition of imported fishmeal made in Mauritania, and in terms of leucine and isoleucine level, over 2 times exceeds the imported one. Amino acid composition of dry hemoglobin was studied. It was determined that this feed additive can be used only for balancing feed for crude protein level and practically does not contain such an important essential amino acid as methionine. Valuable fish species are predators, for this reason compound feed contain high amount of protein (up to 50 %) and fat (up to 30 %) depending on the type and age of the fish. Therefore, soy protein concentrate can be used in terms of protein content and absence of anti-nutritional substances in compound feed, and whey-fat concentrate can be used for balancing the formulation for fat content. At the same time, the need for development of such deep processing industry in our republic is noted. **Acknowledgments.** The research was carried out as part of a separate research project of the National Academy of Sciences of Belarus “Research of the basic process operations for production of compound feed for freshwater fish species with the development of laboratory equipment for testing the technological process”.

Keywords: compound feed for valuable fish species, extruded compound feed, animal protein, vegetable protein, fish meal, hemoglobin meal, legumes, laboratory line

For citation: Aeyets V. Yu., Lovkis Z. V., Koshak Z. V., Koshak A. E. Raw materials and feed production technology for valuable fish species in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no 1 pp. 79–89 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-79-89>

Введение. В Республике Беларусь в последние годы получает распространение индустриальное рыбоводство, которое базируется на ценных видах рыб с более высокими качественными характеристиками по сравнению с прудовой [1, 2]. В республике выращивают: радужную форель (*Oncorhynchus mykiss*), стерлядь (*Acipenser ruthenus*), осетра (*Acipenser*), веслоноса (*Polyodon spathula*), сомов (клариевый, европейский) (*Clarias gariepinus*, *Silurus glanis*). Для выращивания большинства из них (форели, осетра, стерляди, сома) используются комбикорма, которые должны обеспечивать все потребности рыбы в питательных веществах в зависимости от вида, возраста и условий выращивания. В настоящее время в Республике Беларусь ценные виды рыб кормят импортными кормами, которые хорошо разрекламированы, изготавливаются преимущественно из дорогостоящих сырьевых компонентов с применением современных технологий. На рынке Республики Беларусь доминируют комбикорма фирм Aller Aqua (Дания), Correns (Голландия) и Scretting (Норвегия). Эти производители обеспечивают качество гранулы на высочайшем уровне, однако состав их комбикормов достоверно неизвестен.

Институт рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси занимается разработкой научно обоснованных рецептов комбикормов для ценных видов рыб. Так, в 2013 г. был разработан комбикорм экструдированный для сеголетков лососевых рыб и технические условия на него (ТУ BY 100035627.015–2013). Комбикорм предназначен для кормления сеголетков лососевых рыб массой 30 г и выше и представляет собой гранулы темно-коричневого цвета диаметром 2–4 мм. Производится комбикорм на основе местного сырья с добавлением импортируемого соевого шрота и рыбной муки. Содержит полный набор питательных веществ, обогащен витаминами, микро-, макроэлементами и ненасыщенными жирными кислотами. Массовая доля влаги – не более 12,0 %, сырого протеина – не менее 45,0 %, сырого жира – не менее 15,0 %, сырой клетчатки – не более 2,0 %. Разбухаемость гранул – не менее 20 мин. Срок хранения – 3 месяца. Комбикорм прошел сравнительные испытания на радужной форели в рыбопитомнике «Богушевский» и показал хорошие результаты, сопоставимые с зарубежным. Он обеспечил хорошее физиологическое состояние и интенсивный рост рыбы [3–5].



Рис. 1. Экструдированный комбикорм для сеголетков лососевых рыб. Разработка Института рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси, 2013 г.

Fig. 1. Extruded compound feed for yearlings of salmon fish. Development of Institute for Fishery of the National Academy of Sciences of Belarus, 2013

Внешний вид отечественного экструдированного комбикорма для сеголетков лососевых рыб представлен на рис. 1. Гранулы экструдированного комбикорма имеют высокую плотность ($1000\text{--}1200\text{ кг/м}^3$) и пористую структуру, которая позволяет вводить в состав комбикормов для ценных видов рыб до 30 % жира посредством напыления его на поверхность гранул комбикорма.

Производить его в настоящее время в Республике Беларусь могут только два комбикормовых завода – ОАО «Жабинковский комбикормовый завод» и ОАО «Барановичхлебопродукт». На этих предприятиях установлены специализированные линии небольшой производительности, однако из-за сложности и недостаточной изученности технологического процесса, отсутствия высококачественного сырья отечественного производства, высокой стоимости импортного сырья экструдированный комбикорм для ценных видов рыб не всегда имеет требуемые структурно-механические и физико-химические свойства и конкурентоспособен по цене.

Качество комбикормов для ценных видов рыб зависит в первую очередь от качества сырья, рецептуры, технологии производства и оборудования [6, 7].

В Республике Беларусь разведение ценных видов рыб находится на этапе становления, поэтому научных данных, отражающих физиологическую потребность этих рыб в основных питательных веществах, недостаточно, что, в свою очередь, сказывается на биологической полноценности отечественных комбикормов.

Цель настоящей работы – изучение сырьевой базы Республики Беларусь, пригодной для использования в комбикормах для ценных видов рыб, и технологии производства экструдированных комбикормов для ценных видов рыб.

Исследования по разработке технологического оборудования выполнялись в рамках отдельного проекта научных исследований Национальной академии наук Беларуси «Исследование основных технологических операций производства комбикормов для пресноводных видов рыб с разработкой лабораторного оборудования для отработки технологического процесса» в 2017–2019 гг.

Сырье для производства комбикормов для ценных видов рыб. Первичной основой для создания продукта питания для ценных видов рыб является высококачественная **рыбная мука**, которая служит главным источником протеина в промышленных кормах. Благодаря высокой кормовой ценности и вкусовой привлекательности рыбной муки в комбикормах для плотоядных рыб ее может содержаться до 60 % [8]. Тем не менее наблюдающийся в настоящее время относительный дефицит рыбной муки и растущие на нее цены угрожают дальнейшему интенсивному развитию рыбоводства. Поэтому снижение зависимости от рыбной муки с помощью новых источников протеина является основным путем поддержки интенсивного развития рыбной отрасли [9]. Установлено, что животные белки можно легко комбинировать с другими кормовыми ингредиентами, которые дополняют друг друга по аминокислотному составу, что позволяет приводить корма в соответствие с пищевыми потребностями различных видов выращиваемых рыб [10].

В настоящее время в Республике Беларусь налажено производство рыбной муки из морской и пресноводной рыбы и отходов переработки (ООО «Техмашконтакт»). Получаемая рыбная мука по качеству не уступает зарубежной рыбной муке из Марокко, Мавритании, Перу. Результаты исследования аминокислотного состава белорусской рыбной муки представлены в табл. 1.

Аминокислотный скор рассчитывали исходя из потребности осетра в незаменимых аминокислотах: если аминокислотный скор 100 % и более, то потребность в данной аминокислоте удовлетворена полностью. В табл. 1 представлены важнейшие из них или их суммарное содержание. Следует отметить, что в рыбной муке белорусского производства содержится примерно такое же количество незаменимых аминокислот, как и в рыбной муке производство Мавритании. Отмечается дефицит метионина и цистеина в составе двух видов рыбной муки исходя из потребностей осетра, поэтому при составлении рецепта требуется балансировка синтетическим метионином.

Состав аминокислот и их доступность являются первичными факторами при определении питательной ценности кормового компонента, используемого в качестве источника протеина. Несмотря на довольно хороший аминокислотный состав, протеины, получаемые при переработке животного сырья, могут иметь дефицит по одной или нескольким незаменимым аминокислотам. Корректировку дисбаланса аминокислот можно сделать с помощью добавки в корм белковых смесей. В настоящее время в странах Европейского союза (ЕС) в комбикормах для ценных видов

Т а б л и ц а 1. Аминокислотный скор рыбной муки производства Республики Беларусь и Мавритании

Table 1. Amino-acid score of fishmeal produced in the Republic of Belarus and Mauritania

Аминокислота	Содержание АК в рыбной муке, мг/100 г		Потребность в АК ценных видов (осетр), мг АК/1 г	Аминокислотный скор в рыбной муке, %	
	Беларусь	Мавритания		Беларусь	Мавритания
Лизин	4497,2	5509,8	13,857	536,44	657,23
Треонин	2948,6	2635	17,09	285,18	254,85
Метионин + цистеин	1128,4	973,7	23,095	80,76	69,688
Валин	3557,6	3247,5	15,012	391,72	357,58
Фенилаланин + тирозин	4861,8	4210,5	35,104	228,92	198,25
Лейцин	7004,8	4739,8	27,945	414,33	280,35
Изолейцин	4252	2583,3	14,781	475,49	288,89

рыб наряду с рыбной мукой широко стали использовать распыленный высушенный гемоглобин (Франция, Великобритания), для его производства используют цельную коровью или свиную кровь. Сначала ее охлаждают, а затем посредством центрифуги разделяют на плазму и красные кровяные тельца. Фракцию красных кровяных телец (гемоглобин) высушивают посредством распылительной сушки, чтобы получить сухой (менее 5 % влаги) гемоглобиновый порошок. На сегодняшний день этот продукт в качестве кормовой добавки «Actipro 95 MHS» появился на рынке республики. По данным производителя, кормовая добавка «Actipro 95 MHS» содержит весь необходимый перечень незаменимых аминокислот и до 94 % протеина [11]. В Республике Беларусь производят сухие продукты переработки крови убойных животных. Они вырабатываются на мясокомбинатах республики. Недостаток данных продуктов переработки – низкое содержание незаменимой аминокислоты лейцина. В то же время данные продукты отличаются от сухого гемоглобина (фракции красных кровяных телец, извлеченных из крови путем разрушения ее клеток) – это, как правило, либо кровяная мука, содержащая не разрушенные клетки крови, которые не усваиваются рыбой, либо альбумин – фракция водорастворимых белков, ввод которых ограничен для ценных видов рыб, не более 5 %.

Институт рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси провел исследования о возможности использования *сухого гемоглобина* «Actipro 95 MHS» в комбикормах для ценных видов рыб как источника полноценного протеина. Установлено, что переваримость сухого гемоглобина радужной форелью составила 72 %, ленским осетром – 70 %. Известно, что переваримость протеина рыбной муки в зависимости от ее качества составляет 68–92 %. Получается, что переваримость сухого гемоглобина ценными видами рыб находится на нижней границе переваримости рыбной муки, и данная кормовая добавка не может выступать ее альтернативой. Был изучен аминокислотный скор сухого гемоглобина по отношению к потребности осетровых рыб (табл. 2).

Анализ табл. 2 показал, что данная кормовая добавка дефицитна по трем аминокислотам: метионину, цистеину и лейцину, причем суммарное содержание метионина и цистеина крайне низкое по отношению к потребностям осетровых рыб. Аналогичная ситуация отмечается с кормовой добавкой «Actipro 95 MHS» и для радужной форели, поэтому использовать ее можно только как добавку в качестве балансировки рецепта по содержанию протеина. Также нуждается в изучении технология и оборудование для получения отечественного гемоглобина как добавки в комбикорма для пресноводных рыб, что позволит снизить конечную стоимость комбикормов и тем самым стоимость рыбной продукции для населения.

Еще одним ценным источником протеина являются *отходы переработки пресноводной рыбы*, а важным современным направлением в производстве продуктов из отходов является их

глубокая переработка, предусматривающая расщепление белковых молекул на пептидные фрагменты, т.е. производство гидролизатов – продуктов с высоким содержанием свободных аминокислот и низших пептидов. Готовый сухой гидролизат упаковывается в полимерную тару и может храниться до 5 лет при комнатной температуре [12–14]. В республике в настоящий момент рыбный гидролизат не производится. В то же время он является неотъемлемой частью всех зарубежных комбикормов. Институт рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси проводит научные исследования по адаптации технологии глубокой переработки отходов к особенностям отечественного сырья, что требует определения (степени измельчения, оптимальной температуры и продолжительности процесса гидролиза, выбора наиболее эффектив-

Таблица 2. Аминокислотный скор сухого гемоглобина кормовой добавки «Actipro 95 MHS»

Table 2. Amino-acid score of dry hemoglobin «Actipro 95 MHS» feed additive

Аминокислота	Содержание АК		Потребность в АК ценных видов (осетр), мг АК/1г	Аминокислотный скор, %
	мг/100 г	мг АК/1 г белка		
Лизин	8611,5	95,05	13,857	685,94
Треонин	3416,9	37,71	17,09	220,68
Метионин + цистеин	18	0,20	23,095	0,86
Валин	4562	50,35	15,012	335,43
Фенилаланин + тирозин	9684,2	106,89	35,104	304,49
Лейцин	1180,7	13,03	27,945	46,64
Изолейцин	9312,1	102,78	14,781	695,39

ного ферментного препарата и т.д.). Развитие полного цикла переработки пресноводной рыбы в республике с получением высококачественных и высокотехнологичных белковых продуктов позволит частично решить проблему нехватки животного протеина в аквакультуре.

Растительные протеины также широко используются в комбикормах для ценных видов рыб. Растительное сырье, которое содержит большое количество белка, например, семена масличных культур, может быть альтернативным источником протеина для рыбных кормов. Это сырье легкодоступно и дешевле рыбной муки. Однако растительные белки в большинстве случаев имеют низкое содержание незаменимых аминокислот и обладают рядом антипитательных факторов, поэтому степень применения растительных ингредиентов в рыбных кормах ограничена. С другой стороны, прошедшие термическую обработку растительные вещества с большим содержанием белка, высокой усвояемостью сырого протеина и низким содержанием антипитательных компонентов, потенциально являются альтернативным источником белка, способным заменить рыбную муку в комбикормах для ценных видов рыб [15].

В республике наиболее широко используется **соевый шрот** как альтернатива рыбной муке и животному белку в комбикормах для ценных видов рыб. Среди всех источников растительного белка у соевого шрота наиболее сбалансировано содержание аминокислот. Более того, он устойчив к окислению и порче, а также не содержит вредные для рыбы микроорганизмы (грибки, вирусы и бактерии). Однако при высокой степени замены рыбной муки на шрот наблюдается снижение темпов роста рыбы. В силу того, что ценные виды рыб плохо усваивают клетчатку, ее содержание в соевом шроте (до 8 %) снижает его питательную ценность. Исследования многих видов рыб показали, что антипитательные компоненты, содержащиеся в соевом шроте, такие как ингибитор трипсина, лектины, сапонины и олигосахариды, оказывают негативный эффект на усвояемость питательных веществ и рост рыбы [16]. Практически весь соевый шрот, используемый комбикормовой промышленностью, зарубежного производства, объемы производства отечественного соевого шрота крайне низкие и его не хватает. Потребность в соевом шроте для рыбной отрасли составляет около 20 тыс. т.

В настоящее время остро стоит вопрос выращивания и переработки у нас **зернобобовых культур**, богатых протеином. К таким культурам можно отнести горох, люпин и сою.

Среди перечисленных культур наибольшие площади возделывания отведены под **горох** – 80–100 тыс. га. В Государственный реестр включены сорта гороха с содержанием белка от 21,5 до 63,8 % [11, 17]. В основном горох перерабатывается крупяными и консервными предприятиями. Для переработки на кормовые цели необходимо увеличивать посевные площади крупяного гороха (содержание протеина в таких сортах – 30 % и более) и разрабатывать безотходные технологии его переработки. В качестве таких кормовых добавок на основе гороха в комбикормах для ценных видов рыб можно использовать гороховую муку – отход при производстве гороховой муки, содержащий в своем составе до 30 % протеина, и гороховые гидролизаты с содержанием протеина более 45 %, в их состав входят только пептиды, полипептиды и свободные аминокислоты, не содержащие никаких антипитательных веществ из-за глубокой переработки.

Люпин – культура, которая имеет высокий потенциал как источник растительного белка. В странах Европы его выращивают на площади 80–90 тыс. га, у нас – около 40 тыс. га, в основном он используется как культура, позволяющая получать высокие урожаи высокобелковой зеленой массы. Кормовая ценность люпина определяется высоким содержанием белка в его семенах – у различных видов оно колеблется от 30 до 50 %. В настоящее время все сорта, выращиваемые на получение бобов люпина, являются безалкалоидными, и в зависимости от направления использования комбикорма доля люпиновой муки может составлять от 10 до 20 % [18, 19].

Соя – относительно новая культура для республики. Для обеспечения комбикормов для ценных видов рыб отечественным соевым шротом необходимо увеличивать посевные площади и развивать глубокую переработку соевых бобов [20, 21]. За рубежом используют продукт глубокой переработки бобов сои – концентрат соевого белка. Согласно исследованиям зарубежных авторов [22], концентрат соевого белка способен заменить 50 % диетического белка рыбной муки у радужной форели. Институт рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси исследовал химический состав соевого белкового концентрата. В настоящее время глубокая переработка бобов сои налажена в России, на Украине, но в нашей республике подобные

производства отсутствуют. Соевые белковые концентраты – это продукт глубокой переработки, позволяющей получить высокую концентрацию протеина без содержания каких-либо антипитательных веществ. Установлено, что представленный образец концентрата содержит 67 % сырого протеина, 1 % сырого жира и не содержит клетчатки, что свидетельствует о возможности его использования в комбикормах для ценных видов рыб, однако его дозировка должна уточняться с учетом физиологии рыбы и технологии производства.

Ценные виды рыб нуждаются в высоком содержании жира в комбикормах (до 30 %). Для обеспечения высокого содержания липидов в комбикорме в стране использует в основном **рапсовое масло**, влияние которого на физиологию рыб недостаточно изучено. В странах ЕС используют рыбий жир и сывороточно-жировые концентраты (СЖК). Сывороточно-жировой концентрат является продуктом производства молокоперерабатывающих предприятий, однако в нашей стране он производится в недостаточных объемах, например СЖК «Промилк» (Беларусь) и др. Институт рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси оценил химический состав образца СЖК: содержание сырого жира – 40 %, сухого вещества – 97 %, сырого протеина – 7 %, сырой клетчатки продукт не содержит. На основании полученных результатов можно заключить, что СЖК можно использовать в качестве компонента в комбикормах для ценных видов рыб.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости развития отечественной сырьевой базы для производства высококачественных комбикормов для ценных видов рыб. В первую очередь требуется развитие глубоких методов переработки сырья с получением высококачественных кормовых продуктов. Однако составление биологически полноценной рецептуры – это только половина работы, вторая половина – разработка оптимальных параметров технологических процессов производства, которые преобразуют все химические вещества, входящие в исходную рецептуру, и придают гранулам требуемые физико-химические и структурно-механические свойства.

Технология и оборудование для производства комбикормов для ценных видов рыб. В настоящее время технология производства комбикормов для ценных видов рыб в республике требует совершенствования. По этой причине для изучения особенностей технологии производства разработано экспериментальное лабораторное технологическое оборудование, которое включает: дробилку для тонкого измельчения сырья, смеситель, кондиционер, экструдер, охладитель, аппарат для вакуумного нанесения жира, сушилку.

Данный комплект оборудования позволяет изучать важнейшие этапы производства экструдированных комбикормов [23–25]:

1) измельчение сырья, при котором размер частиц не должен превышать 500 мкм (0,5 мм), что является основным требованием процесса экструдирования. Крупность частиц сырья влияет на текстуру, водостойкость, прочность и однородность конечного продукта, степень этого влияния должна быть установлена в дальнейших исследованиях;

2) дозирование компонентов комбикормов осуществляется с помощью многокомпонентных весовых дозаторов;

3) смешивание компонентов происходит в смесителе и необходимо для достижения однородной смеси, что способствует равномерному поглощению влаги при обработке в экструдере. Такие параметры процесса, как время смешивания, однородность смешивания, требуют изучения с целью достижения оптимального результата;

4) экструдирование – процесс, с помощью которого гранулы комбикорма достигают заданных физико-химических свойств, главным из которых является плотность, которая обеспечивает плавучесть гранул на поверхности, или быструю погружаемость, или погружаемость с заданной скоростью. Значения плотности зависят не только от параметров работы экструдера, но и от рецептуры, что в совокупности требует глубокого изучения процесса;

5) сушка экструдата – процесс предназначен для удаления излишней влаги, вносимой в продукт в процессе экструзии, и доведения комбикорма до требуемой влажности. Процесс сушки существенно влияет на последующий этап нанесения жира и нуждается в подборе оптимальных режимов;

6) нанесение жира на гранулу – один из основных этапов. Ввод большого количества жира (до 40 %) в жидком виде возможен только посредством технологии вакуумного напыления, обе-

спечивающей проникновение жидкости глубоко в структуру гранул экструдированного корма через микропоры. Можно напылять не только жиры и масла, но и аминокислоты, аттрактанты, водоросли и т.д. Возможно напыление порошкообразных компонентов. Однако все параметры технологического процесса для каждого из напыляемых компонентов должны быть дополнительно изучены;

7) охлаждение – завершающий этап производства экструдированного комбикорма, от этого этапа зависит качество комбикорма и срок хранения;

8) упаковка комбикормов. Комбикорма для ценных видов рыб хранятся и транспортируются только в упакованном виде, от вида и качества упаковки зависит сохранность комбикорма. Изучение процессов, происходящих при хранении упакованных комбикормов, позволит регулировать их качество.

Линия разработана специалистами Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию и Института рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси. Лабораторная установка позволяет не только изучить и научно обосновать технологию производства комбикорма с заданными свойствами, но и выпускать опытные партии комбикормов для рыб (экструдированных – для ценных видов рыб и гранулированных – для карпа). Производительность установки составит в среднем 15 кг/ч, поэтому в год можно выпускать до 22 т при 4-часовом режиме производства, что составит 73 % от импортируемого в республику комбикорма для ценных видов рыб. Остальное время работы линии планируется использовать для научных исследований. Технологическая схема проектируемого производства представлена на рис. 2.

На рис. 3 представлен кондиционер и экструдер, предназначенные для влаготепловой обработки рассыпного комбикорма и его последующего экструдирования. Кондиционер позволяет увлажнять, подогревать и смешивать рассыпной комбикорм. Увлажнение осуществляется до влажности 25–35 % с помощью пара и горячей воды. На данном аппарате можно менять скорости мешалки, что повышает эффективность проникновения водяного пара и воды в комбикорм для активизации биохимических процессов (происходит частичный гидролиз крахмала и белков), тем самым повышая питательную ценность комбикорма. После кондиционера комбикорм подается на экструдер, где под действием температуры и давления происходит разрушение крахмала до моносахаров, а также частичное разрушение молекул белка с образованием полипептидов, пептидов и свободных аминокислот. Для формования гранул предусмотрены на

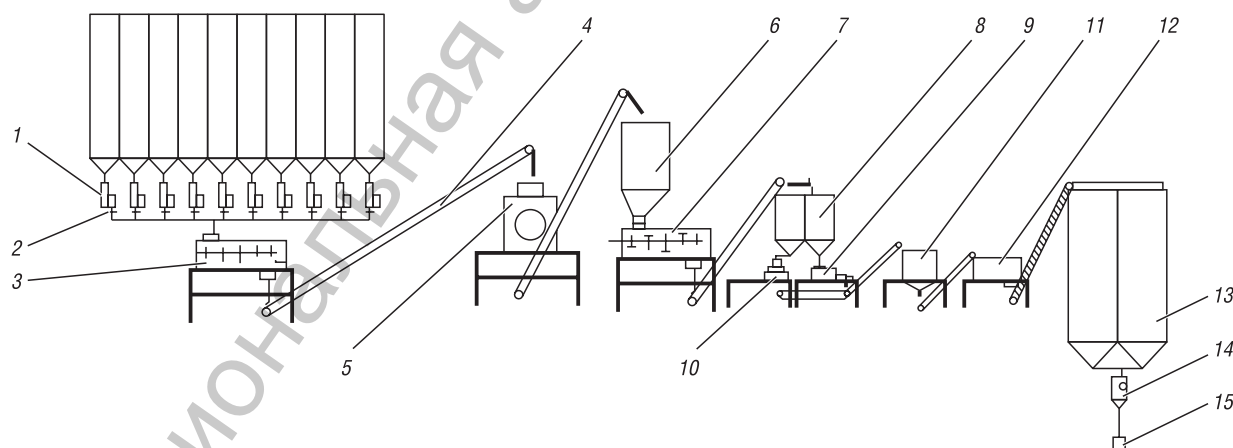


Рис. 2. Технологическая схема лабораторной установки по производству комбикормов для рыб: 1 – весовой дозатор; 2 – задвижка; 3 – смеситель; 4 – конвейер; 5 – дробилка; 6 – бункер перед кондиционером; 7 – кондиционер; 8 – бункеры надгранулятором и надэкструдером; 9 – экструдер; 10 – пресс-гранулятор (комбикорма для карпа); 11 – охладитель-сушилка; 12 – аппарат для вакуумного нанесения жира; 13 – бункеры для готового комбикорма; 14 – весы; 15 – упаковочный аппарат

Fig. 2. Process layout of laboratory installation for production of animal feed for fish: 1 – weight dispenser; 2 – mixer; 3 – valve; 4 – conveyor; 5 – crusher; 6 – bunker prior to conditioner; 7 – conditioner; 8 – bunker above the granulator and above the extruder; 9 – extruder; 10 – press granulator (compound feed for carp); 11 – cooler-dryer; 12 – apparatus for vacuum application of fat; 13 – bunkers for ready compound feed; 14 – scales; 15 – packaging machine



Рис. 3. Лабораторный кондиционер и экструдер. Разработка Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, 2018 г.

Fig. 3. Laboratory conditioner and extruder. Development of Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuff, 2018



Рис. 4. Продукционный экструдированный комбикорм для осетровых рыб, произведенный на лабораторном оборудовании. Разработка Института рыбного хозяйства Национальной академии наук Беларуси, 2018 г.

Fig. 4. Extruded production compound feed for sturgeon fish, produced using laboratory equipment. Development of Institute for Fishery of the National Academy of Sciences of Belarus, 2018

экструдере фильеры, которые позволяют получать гранулы 2, 3 и 6 мм в диаметре. Разные размеры гранул позволяют получать комбикорма для ценных видов рыб различного возраста: сеголетки – диаметром 2–3 мм, годовики, двухлетки и старше – 6 мм.

Лабораторное оборудование позволяет производить экспериментальные комбикорма и исследовать влияние технологических параметров работы оборудования на качество, химический состав комбикормов экструдированных для ценных видов рыб и гранулированных для карпа мощностью 22 т/год с минимальным количеством ручного труда.

На рис. 4 представлен комбикорм продукционный для осетровых рыб, диаметром 4 мм. Комбикорм удовлетворяет всем требованиям действующих нормативно-технических актов, содержит в своем составе 42 % сырого протеина, 12 % жира и 1,5 % клетчатки. По эффективности полученный комбикорм не уступает зарубежным комбикормам, имеет кормовой коэффициент 1,5 ед., тонет в воде (плотность 1100 кг/м³) и имеет высокую водостойкость (2 ч).

Закключение. Для решения проблемы производства отечественных комбикормов для ценных видов рыб необходимы усилия научно-исследовательских институтов Национальной академии наук Беларуси по разработке перспективных, эффективных новых видов современного сырья, рецептур, изучению процессов производства комбикормов, что в конечном итоге позволит получить отечественный качественный конкурентоспособный комбикорм, сэкономить валютные ресурсы страны и развивать импортозамещающие технологии и оборудование.

Требуется развивать глубокую переработку сырья с получением высококачественных кормовых компонентов, таких как гидролизаты и концентраты растительного и животного происхождения, более широко использовать вторичные продукты переработки пищевых производств и т.д. Изучение технологии производства комбикормов для ценных видов рыб позволит установить влияние температуры, давления, влажности на биохимический состав комбикормов, определить потери биологически активных веществ, аминокислот при их производстве, разработать современные способы контроля наличия или отсутствия этих веществ в комбикормах и выпускать комбикорма полностью соответствующие их рецептам. В итоге отечественные комбикорма для ценных видов рыб станут конкурентоспособными с зарубежными кормами.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках отдельного проекта научных исследований Национальной академии наук Беларуси «Исследование основных технологических операций производства комбикормов для пресноводных видов рыб с разработкой лабораторного оборудования для отработки технологического процесса».

Список использованных источников

1. Агеец, В. Ю. Современное состояние и перспективы развития комбикормов для пресноводных рыб / В. Ю. Агеец, Ж. В. Кошак // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Минск, 2016. – Вып. 32. – С. 75–85.
2. Барулин, Н. В. Стратегия развития осетроводства в Республике Беларусь / Н. В. Барулин // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. навук. – 2017. – № 2. – С. 82–90.
3. Гамыгин, Е. А. Проблемы разработки и качества комбикормов для рыб / Е. А. Гамыгин, А. Н. Канидьев, В. И. Турецкий // Вопросы разработки и качества комбикормов : сб. науч. тр. / М-во рыб. хоз-ва СССР, Науч.-произв. об-ние по рыбоводству, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т прудового рыб. хоз-ва. – М., 1989. – Вып. 57. – С. 3–8.
4. Агеец, В. Ю. Состояние аквакультуры в Республике Беларусь: возможности инновационного развития и научное обеспечение / В. Ю. Агеец // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Минск, 2015. – Вып. 31. – С. 14–24.
5. Оценка физиологического состояния сеголетков форели при использовании отечественного экструдированного комбикорма / Н. Н. Гадлевская [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Минск, 2013. – Вып. 29. – С. 123–128.
6. Егоров, С. С. Развитие рыбохозяйственного комплекса: эколого-экономический аспект / С. С. Егоров // Вестн. Самар. гос. ун-та. – 2013. – № 7 (108). – С. 25–29.
7. Алексеев, А. П. Аквакультура – вызов времени / А. П. Алексеев // Рыбоводство и рыб. хоз-во. – 2011. – № 7. – С. 3–9.
8. Goddard, S. Feed management in intensive aquaculture / S. Goddard. – New York : Chapman a. Hall, 1996. – 194 p.
9. Hardy, R. W. Trends in world aquaculture production: issues limiting increased production / R. W. Hardy, G. W. M. Kissil // The living gut, bridging the gap between nutrition and performance : proc. of the 12th annu. symp. on biotechnology in the feed industry / eds.: T. P. Lyons, K. A. Jacques. – Stamford, 1996. – P. 107–120.
10. Щербина, М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. – М. : Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.
11. Абросимова, Н. А. Кормовое сырье для объектов аквакультуры / Н. А. Абросимова, С. С. Абросимов, Е. М. Саенко. – Ростов-н/Д : Эверест, 2005. – 144 с.
12. Максимова, Е. М. Разработка технологии утилизации белковых отходов методом ферментативного гидролиза / Е. М. Максимова // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 9, № 5. – С. 875–879.
13. Rustad, T. Utilisation of marine by-products / T. Rustad // Electronic J. of Environmental, Agr. a. Food Chemistry. – 2002. – Vol. 2, № 4. – P. 458–463.
14. Šližytė, R. Enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products. Optimization of yield and properties of lipid and protein fractions / R. Šližytė, T. Rustad, I. Storø // Process Biochemistry. – 2005. – Vol. 40, N 12. – P. 3680–3692. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.04.007>
15. Гамыгин, Е. А. Итоги работы по созданию новых кормов для ценных объектов аквакультуры / Е. А. Гамыгин, М. А. Щербина, А. А. Передня // Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыб. хоз-во. – 2004. – № 2 (21). – С. 55–60.
16. Процессы перекисного окисления липидов у осетровых рыб при кормлении различными кормами / Ш. К. Бахтиярова [и др.] // Междунар. журн. приклад. и фундам. исслед. – 2016. – Вып. 5, ч. 4. – С. 595–598.
17. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильфлудш [и др.] ; под общ. ред.: И. Р. Вильфлудша, П. А. Саскевича. – Горки : БГСХА, 2016. – 383 с.
18. Горбунов, Н. Н. Сравнительная оценка питательных и антипитательных свойств зерна бобовых культур / Н. Н. Горбунов, Л. А. Трунова // Совершенствование приемов производства, хранения и переработки растительного сырья : сб. науч. тр. / Воронеж. гос. аграр. ун-т. – Воронеж, 1995. – С. 275–283.
19. Трунова, Л. А. Тепловая обработка зерна кормового гороха и кормовых бобов / Л. А. Трунова // Совершенствование приемов производства, хранения и переработки растительного сырья : сб. науч. тр. / Воронеж. гос. аграр. ун-т. – Воронеж, 1995. – С. 300–307.
20. Получение кормовой полножирной сои на современных экструдерах / Л. Я. Бойко [и др.] // Комбикорма. – 2004. – № 2. – С. 21–22.
21. Применение в кормах экструдированной полножирной сои / Л. Я. Бойко [и др.] // Комбикорма. – 2004. – № 3. – С. 51–52.
22. Gomes, E. F. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance / E. F. Gomes, P. Rema, S. J. Kaushik // Aquaculture. – 1995. – Vol. 130, N 2/3. – P. 177–186. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00211-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00211-6)
23. Кириллов, А. Аквакорма. Комбикормовые заводы «под ключ» / А. Кириллов // Комбикорма. – 2015. – № 1. – С. 48–49.
24. Остриков, А. Экструдирование комбикормов: новые подходы и перспективы / А. Остриков, В. Василенко // Комбикорма. – 2011. – № 8. – С. 39–42.
25. Вик, Г. Управление плавучестью кормов для аквакультуры / Г. Вик, Д. Кернс, Е. Булах // Комбикорма. – 2016. – № 3. – С. 30–32.

References

1. Ageets V. Yu., Koshak Zh. V. Modern status and compound feeds development prospects for freshwater fish. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi: sbornik nauchnykh trudov* = *Belarus fish industry problems: collection of scientific papers*. Minsk, 2016, iss. 32, pp. 75-85 (in Russian).
2. Barulin N. V. Strategy for sturgeon breeding in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no. 2, pp. 82-90 (in Russian).
3. Gamygin E. A., Kanid'ev A. N., Turetskii V. I. Problems of the development and quality of mixed fodders for fish. *Voprosy razrabotki i kachestva kombikormov: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of the development and quality of mixed fodders: a collection of scientific papers]. Moscow, 1989, iss. 57, pp. 3-8 (in Russian).
4. Ageets V. Yu. State of aquaculture in the Republic of Belarus: potential for innovation development and scientific support. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi: sbornik nauchnykh trudov* [Belarus fish industry problems: collection of scientific papers]. Minsk, 2015, iss. 31, pp. 14-24 (in Russian).
5. Gadlevskaya N. N., Degtyarik S. M., Selivonchik I. N., Tyutyunova M. N., Orlov I. A. Evaluation of physiological state of trout fingerlings while using extruded combined feedstuff of domestic production. *Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi: sbornik nauchnykh trudov* [Belarus fish industry problems: collection of scientific papers]. Minsk, 2013, iss. 29, pp. 123-128 (in Russian).
6. Egorov S. S. Development of fishery industry: ecological and economic aspects. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2013, no. 7 (108), pp. 25-29 (in Russian).
7. Alekseev A. P. Aquaculture – time call. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo* [Fish and Fisheries], 2011, no. 7, pp. 3-9 (in Russian).
8. Goddard S. *Feed management in intensive aquaculture*. New York, Chapman and Hall, 1996. 194 p.
9. Hardy R. W., Kissil W. M. Trends in world aquaculture production: issues limiting increased production. *The living gut, bridging the gap between nutrition and performance: proceedings of the 12th annual symposium on biotechnology in the feed industry*. Stamford, 1996, pp. 107-120.
10. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Fish feeding in freshwater aquaculture*. Moscow, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 2006. 360 p. (in Russian).
11. Abrosimova N. A., Abrosimov S. S., Saenko E. M. *Fodder raw materials for aquaculture objects*. Rostov on Don, Everest Publ., 2005. 144 p. (in Russian).
12. Maksimova E. M. Development of recycling technology of waste protein by enzymatic hydrolysis. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Vestnik of Murmansk State Technical University*, 2006, vol. 9, no. 5, pp. 875-879 (in Russian).
13. Rustad T. Utilisation of marine by-products. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 2, no. 4, pp. 458-463.
14. Šližyte R., Rustad T., Storror I. Enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products: optimization of yield and properties of lipid and protein fractions. *Process Biochemistry*, 2005, vol. 40, no. 12, pp. 3680-3692. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.04.007>
15. Gamygin E. A., Shcherbina M. A., Perednya A. A. Results of work on creation of new feedstuffs for valuable objects of agriculture. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2004, no. 2 (21), pp. 55-60 (in Russian).
16. Bakhtiyarova Sh. K., Dzhushipbekova B. A., Zhaksymov B. I., Makashev E. K., Erlan A. E., Alpysbaeva K. K., Khasanova Kh. Kh. Influence of various forages on the condition of missile defence pro- and – antioxidant system of blood of fishes. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, iss. 5, pt. 4, pp. 595-598 (in Russian).
17. Vil'dflush I. R., Saskevich P. A. (eds.). *Modern crop cultivation technologies*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2016. 383 p. (in Russian).
18. Gorbunov N. N., Trunova L. A. Comparative evaluation of the nutritional and antinutritional properties of legume grain. *Sovershenstvovanie priemov proizvodstva, khraneniya i pererabotki rastitel'nogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov* [Improving the methods of production, storage and processing of plant raw materials: a collection of scientific papers]. Voronezh, 1995, pp. 275-283 (in Russian).
19. Trunova L. A. Heat treatment of fodder pea grains and fodder beans. *Sovershenstvovanie priemov proizvodstva, khraneniya i pererabotki rastitel'nogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov* [Improving the methods of production, storage and processing of plant raw materials: a collection of scientific papers]. Voronezh, 1995, pp. 275-283 (in Russian).
20. Boiko L. Ya., Trunova L. A., Zotkin V. I., Demchenko N. Production of fodder full-fat soybean on modern extruders. *Kombikorma* = *Compound Feeds*, 2004, no. 2, pp. 21-22 (in Russian).
21. Boiko L. Ya., Zotkin V., Chernyshev N. I., Trunova L. A., Fat'yanova N. The use of extruded full-fat soybean in feeds. *Kombikorma* = *Compound Feeds*, 2004, no. 3, pp. 51-52 (in Russian).
22. Gomes E. F., Rema P., Kaushik S. J. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 1995, vol. 130, no. 2/3, pp. 177-186. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00211-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00211-6)
23. Kirillov A. Aquafeeds. Industries for compound aquafeeds manufacture”on a turn-key basis”. *Kombikorma* = *Compound Feeds*, 2015, no. 1, pp. 48-49 (in Russian).

24. Ostrikov A., Vasilenko V. Compound feed extrusion: new approaches and prospects. *Kombikorma = Compound Feeds*, 2011, no. 8, pp. 39-42 (in Russian).

25. Vik G., Kerns D., Bulakh E. Management of aquaculture feed buoyancy. *Kombikorma = Compound Feeds*, 2016, no. 3, pp. 30-32 (in Russian).

Информация об авторах

Агеец Владимир Юльянович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Республики Беларусь (ул. Стебенева 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@tut.by

Ловкис Зенон Валентинович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com

Кошак Жанна Викторовна – кандидат технических наук, доцент, заведующая лабораторией кормов, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Республики Беларусь (ул. Стебенева 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Koshak.zn@Gmail.com

Кошак Артур Эдуардович – кандидат технических наук, доцент, и.о. начальника отдела новых технологий и техники, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: npzont2017@gmail.com

Information about authors

Vladimir Yu. Ageets - D. Sc. (Agriculture), Professor. Fish Industry Institute, the National Academy of Sciences of Belarus (22 Stebeneva Str., 220024 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@tut.by

Zenon V. Lovkis - Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Professor. The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com

Zhanna V. Koshak - Ph. D. (Engineering), Associate Professor. Fish Industry Institute, the National Academy of Sciences of Belarus (22 Stebeneva Str., 220024 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Koshak.zn@Gmail.com

Artur E. Koshak - Ph. D. (Engineering), Associate Professor. The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: npzont2017@gmail.com