

УДК 631.171:631.43:631.31

UDC 631.171:631.43:631.31

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for agroindustrial complex (technical sciences)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ С СОДЕРЖАНИЕМ СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

MODERNIZATION OF THE EXTRUDER FOR THE PREPARATION OF FEED CONTAINING RAW MATERIALS OF ANIMAL ORIGIN

Бабаджянн Аркадий Спартакovich
Старший преподаватель
РИНЦ SPIN-код: 3071-9350
Babajanyan.arkady2015@yandex.ru

Babajanyan Arkady Spartakovich
Senior Lecturer
RSCI SPIN code: 3071-9350
Babajanyan.arkady2015@yandex.ru

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Рудой Дмитрий Владимирович
канд. техн. наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный»
РИНЦ SPIN-код: 3297-3460
rudoy.d@gs.donstu.ru
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

Rudoy Dmitry Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., associate professor, Dean of the Agribusiness faculty
RSCI SPIN-code: 3297-3460
rudoy.d@gs.donstu.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
Agrarian Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation

Брагинец Сергей Валерьевич
д-р техн. наук, профессор
РИНЦ SPIN-код:4849-0287
sbraginets@mail.ru
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Россия

Braginets Sergey Valerievich
Dr.Sci.Tech., assistant professor
RSCI SPIN-code: 4849-0287
sbraginets@mail.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
Agrarian Research Center «Donskoy», Zernograd, Russia

Мальцева Татьяна Александровна
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 7418-8531
tamalceva@donstu.ru
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Maltseva Tatyana Alexandrovna
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 7418-8531
tamalceva@donstu.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

В настоящее время остро стоит вопрос создания собственной кормовой базы для развития российского рыбоводства, в первую очередь в связи с ростом цен на импортные ингредиенты и оборудование. Цель работы: определить рациональные геометрические и технологические параметры экструдера для производства кормов для рыб. Подбор рационального соотношения длины шнека с его диаметром является ключевым аспектом при проектировании шнековых экструдеров. Оптимальное соотношение позволяет достичь высокой эффективности смешивания и перемешивания ингредиентов, оптимального теплообмена и гидродинамических условий. Это

Currently, the issue of creating its own feed base for the development of Russian fish farming is acute, primarily due to rising prices for imported ingredients and equipment. The purpose of the work: to determine the rational geometric and technological parameters of the extruder for the production of fish feed. The selection of a rational ratio of the length of the screw with its diameter is a key aspect in the design of screw extruders. The optimal ratio allows achieving high efficiency of mixing and mixing of ingredients, optimal heat transfer and hydrodynamic conditions. This helps to improve the quality and nutritional value of fish feeds, which in turn can increase the efficiency and productivity of fish farming. Rational parameters

способствует улучшению качества и пищевой ценности рыбных кормов, что в свою очередь может повысить эффективность и продуктивность рыбоводства. Определены рациональные параметры: отношение длины шнека к диаметру составляло $L/D = 6:1$ при $D = 56$ мм, диаметр выходного отверстия фильеры – 10 мм. Конструкторское решение позволило преобразовать зерновой экструдер для изготовления корма с содержанием сырья животного происхождения за счет контроля процесса экструзии. Модернизация экструдера привела к увеличению производительности на 8,5%, снижению энергоемкости процесса на 12% по отношению к базовой модели

were determined: the ratio of the screw length to the diameter was $L/D = 6:1$ at $D = 56$ mm, the diameter of the outlet of the die was 10 mm. The design solution made it possible to transform the grain extruder for the manufacture of feed containing raw materials of animal origin by controlling the extrusion process. The modernization of the extruder resulted in an 8.5% increase in productivity and a 12% reduction in the energy intensity of the process relative to the base model

Ключевые слова: ЭКСТРУДИРОВАНИЕ, ШНЕК, КОРМ ДЛЯ РЫБ, РЫБОВОДСТВО, ПАРАМЕТРЫ, РЕЖИМЫ

Keywords: EXTRUSION, AUGER, FISH FOOD, FISH FARMING, PARAMETERS, MODES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-196-001>

Введение

В настоящее время существуют несколько проблем, связанных с кормопроизводством для рыбоводства в стране. Одной из основных является недостаточная доступность качественных кормовых ингредиентов. Российская Федерация имеет огромный потенциал для развития аквакультуры, однако многие рыбоводные предприятия сталкиваются с проблемой недостаточного ассортимента и низкого качества кормов. Это приводит к низкой продуктивности и эффективности рыбоводных хозяйств.

Кроме того, проблемой является недостаток знаний о правильном подборе и использовании кормовых ингредиентов. Рыбоводы могут не иметь достаточной экспертизы при синтезе кормов для рыб, что приводит к неправильному питанию и недостаточному питательному потреблению. Это негативно сказывается на росте и развитии рыбы, а также на ее здоровье и иммунной системе [1].

Другой проблемой является высокая стоимость кормовых ингредиентов. В Российской Федерации существуют ограничения в импорте кормовых ингредиентов, что определяет повышение цен на

<http://ej.kubagro.ru/2024/02/pdf/01.pdf>

доступные на рынке корма и, определенно, создает дополнительные финансовые трудности для рыбоводных предприятий.

Однако широкое применение экструдирования кормов может быть решением для этих проблем. Этот метод обработки позволяет улучшить пищевую ценность и усвояемость кормов, что может помочь рыбе получать больше питательных веществ из потребляемого корма. Кроме того, экструдированные корма более биобезопасны, так как высокая температура и давление, действующие на корм в процессе экструзии, уничтожают патогенные микроорганизмы. Соответственно снижается риск заболеваний у рыбы и повышается безопасность самой продукции рыбоводства.

Известно, что шнековые экструдеры обеспечивают высокую степень гомогенизации и смешивания кормовых ингредиентов. В процессе экструзии за счет интенсивного сдвига и перемешивания слоев достигается равномерное распределение питательных веществ и добавок в корме, что в свою очередь способствует улучшению пищевой ценности и качества рыбных кормов [2].

Также шнековые экструдеры позволяют в достаточно широком диапазоне регулировать температуру. Это особенно важно при производстве рыбных кормов, так как рыбы имеют определенные требования к пищевому теплу. На шнековых экструдерах несложно точно контролировать параметры экструзии, тем самым обеспечить оптимальные условия для сохранения питательных веществ и минимизации потерь.

Кроме того, шнековые экструдеры могут быть настроены для производства кормов с различными физическими свойствами. Например, с помощью шнековых экструдеров можно получить экструдаты с различными формами, размерами и текстурами. Это позволяет адаптировать рыбные корма под конкретные требования разных видов

рыб. Например, для мелких рыб можно производить мелкие гранулы, а для крупных рыб - крупные палочки или пеллеты.

Еще одним преимуществом шнековых экструдеров является возможность добавления функциональных ингредиентов в рыбные корма. С помощью шнековых экструдеров можно инкапсулировать добавки в экструдаты, такие как пробиотики, пребиотики или лекарственные препараты. Это позволяет достичь целевого доставления этих добавок в организм рыбы и повысить их эффективность.

Материалы и методы

В настоящее время для обоснования рациональных параметров и режимов работы эффективного экструдера под задачу обогащения кормов необходимыми добавками актуально изучение основных кинетических закономерностей процесса экструзии при температурах начала реакции Майяра [3], которая начинает проявляться в диапазоне до 120-125°C, а также возможна разработка новых видов экструдеров [2].

В основном в конструкции одношнекового экструдера используются цельные шнеки (см. рисунок 1).

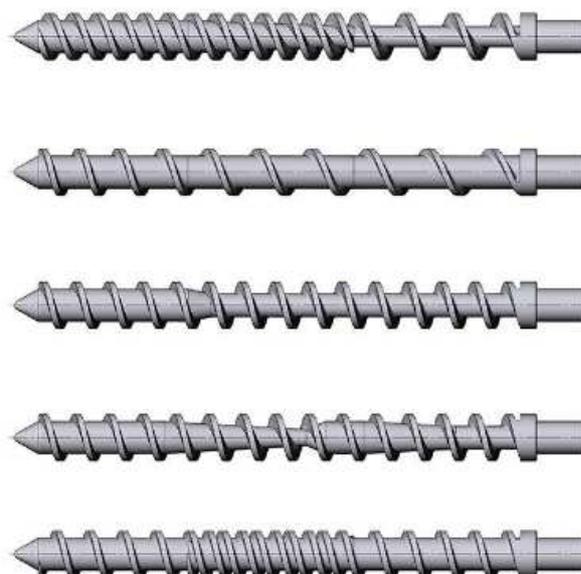
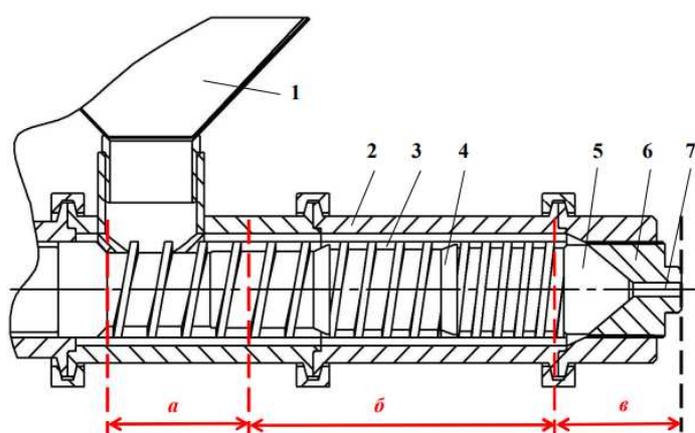


Рисунок 1 – Виды цельных шнеков для экструдеров

Основной проблемной данных шнеков является сложность их изготовления, процесс является достаточно трудоемким. Так как процесс экструзии протекает при высоких температурах зачастую наблюдается явление «запекания» сырья и заклинивание рабочего органа, в свою очередь это приводит к длительным задержкам для демонтажа шнека и его очистки. Так же одной из проблемных зон данных шнеков является относительно небольшая зона загрузки компонентов сырья при одновременной подаче нескольких видов исходного продукта [2].

В связи с вышеизложенным, было принято решение о создании нового вида шнека, который был разработан авторами совместно с коллегами из с «АНЦ «Донской» и Донской государственной технической университет (см. рисунок 2).



а – загрузка кормового сырья; б – уплотнение и экструдирование кормового сырья; в – выгрузка экструдата под давлением; 1 – загрузочный бункер; 2 – корпус; 3 – рабочая зона; 4 – шайба; 5 – предматричное пространство; 6 – матрица; 7 – фильера

Рисунок 2 – Схема шнекового экструдера и его рабочие зоны и фото экспериментальной установки

Экструдруемый материал подается в экструзионную камеру через загрузочную воронку и захватывается шнеком. В процессе движения по винтовому каналу шнека частицы осевого движения перемешиваются и измельчаются. Эта зона называется зоной смешивания или зоной питания. Длина зоны питания составляет 2-3 диаметра шнека. Расход материала в

этой зоне зависит от параметров шнека и увеличивается с увеличением диаметра, глубины нарезки и шага резьбы.

Под действием давления, создаваемого шнеком, давление и температура биоматериала постепенно увеличиваются, что приводит к зоне уплотнения и плавления материала. Зона пластификации начинается, когда материал начинает плавиться под воздействием трения о витки шнека. По итогу плавления биоматериал превращается в вязкопластичную массу достигая температуры до 60°C.

Гомогенизация сырья осуществляется в зоне структурообразования достигая температуры 120 до 150°C. В конце этой зоны расплав проходит через фильеру матрицы под давлением. При выходе из матрицы происходит резкое изменение давления, что приводит к испарению свободной и связанной влаги и изменению физической структуры материала. В результате происходит окончательное формирование экструдата с увеличением его объема и пористости.

Результаты и обсуждения

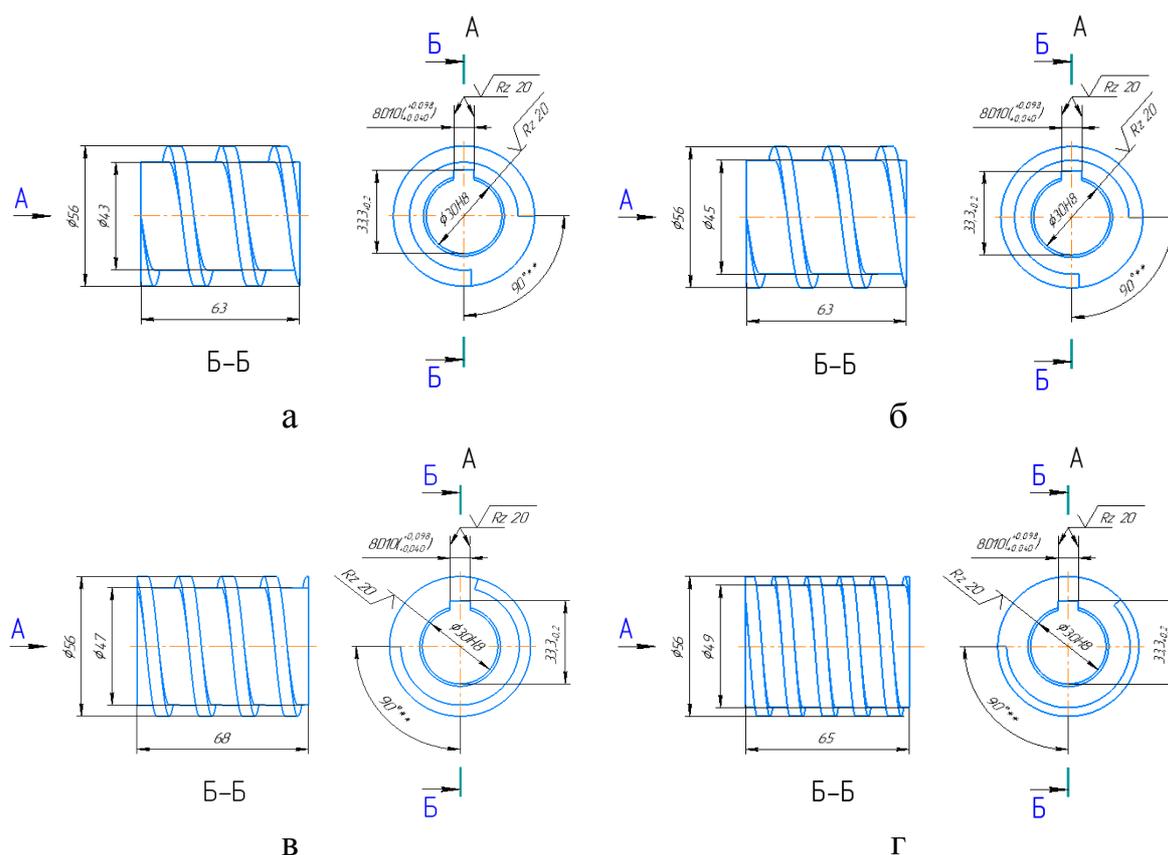
Подбор соотношения длины шнека с его диаметром является важным аспектом при производстве кормов для рыб с использованием шнековых экструдеров. Соотношение длины шнека с его диаметром определяет скорость смешивания и перемешивания кормовых ингредиентов. Большая длина шнека позволяет достичь более длительного контакта ингредиентов с вращающимся шнеком, что способствует более равномерному распределению и смешиванию питательных веществ. В то же время, оптимальный диаметр шнека позволяет достичь достаточной скорости смешивания без создания излишнего сопротивления, что может привести к потере энергии и понижению эффективности процесса. Соотношение длины шнека с его диаметром влияет на теплообмен в процессе экструзии. Большая поверхность шнека, обусловленная его длиной, способствует более эффективному передаче тепла от шнека к кормовым ингредиентам.

Это позволяет достичь оптимальной температуры в процессе экструзии, что важно для сохранения питательных веществ и минимизации потерь.

Конструктивные параметры шнека были определены согласно методики расчета основных конструктивно-режимных параметров одношнекового экструдера (формулы 8 – 28), разработанная в АНЦ «Донской».[2]

Были определены рациональные параметры: отношение длины шнека к диаметру составляло $L/D = 6:1$ при $D = 56$ мм, диаметр выходного отверстия фильеры – 10 мм.

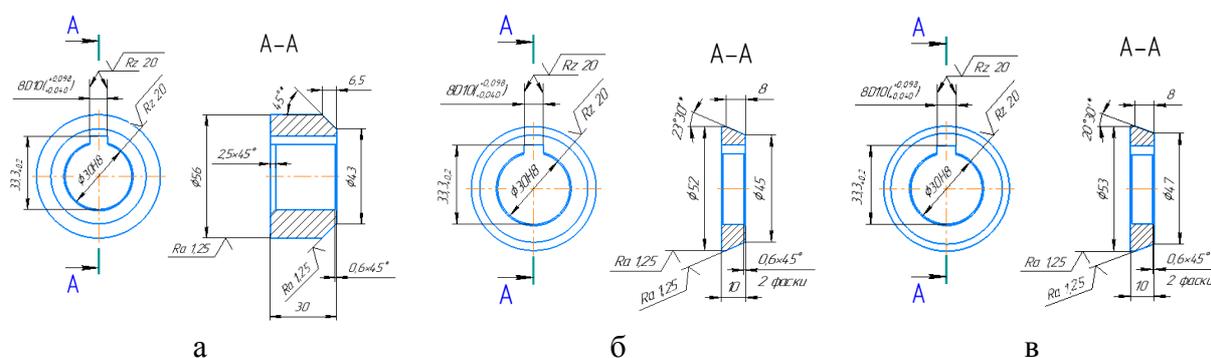
Конструкторская документация была разработана в КОМПАС-3D v22, частично представлена на рисунке 3.



а) при внутреннем \varnothing 43мм и шаге витка 16мм, б) при внутреннем \varnothing 45мм и шаге витка 16мм, в) при внутреннем \varnothing 47мм и шаге витка 12мм, г) при внутреннем \varnothing 49мм и шаге витка 8 мм

Рисунок 3 – Фрагменты шнека с различными геометрическими параметрами

Разработанный шнек является наборным, разделен на три зоны, в процессе перемещения сырья внутри экструдера изменяются шаг навивки, внутренний диаметр шнека, соответственно пространство рабочей зоны, которое влечет за собой изменение давления, помимо этого в граничных зонах между частями шнека установили переходные шайбы (см. рисунок 4), где создаётся дополнительное сопротивление движущейся массы, что способствует дополнительному разрушению сырья и улучшению процесса смешивания различных компонентов в рабочей зоне экструдера. Данное решение позволило снизить затраты на смешивание сырья до экструдирования и получить более однородную консистенцию.



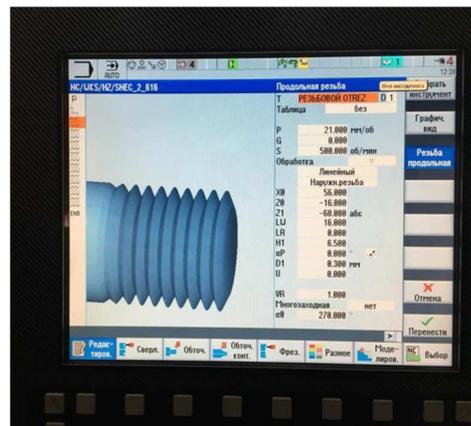
а) зона питания (смешивания), б) переход в зону уплотнения, в) переход в зону пластификации

Рисунок 4 – Уплотнительные шайбы

Изготовление деталей производилось в Южном центре модернизации машиностроения Донского государственного технического университета, на станке *CTX 510 ecoline* оснащенной системой ЧПУ *SIEMENS SINUMERIK 840D sl + ShopTurn* (см. рисунок 5).



а



б



в



г

а) Общий вид станка, б) процесс моделирования, в) процесс изготовления, г) готовый продукт

Рисунок 5 – Изготовление шнека

Выводы

В результате данного конструкторского решения было выявлено, что сокращается время пребывания сырья в рабочей зоне, что способствует увеличению производительности экструдера на 8,5%, достигается необходимое давление (15 МПа) при 300-310мин⁻¹ оборотах вращения вала, что приводит к снижению энергоёмкости процесса на 12% ниже базовой модели и выдерживании температурного режима (120-125°С) для протекания процесса экструзии, при этом не приводит в состояние запекания (сгорания) белковой части сырья и сохраняет химическую и биологическую ценность сырья.

Литература

1. Головина Н.Н. и др. Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры: науч. аналит. обзор // М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 88 с.
2. Бахчевников О.Н. и др. Технологии и оборудование для экструдирования растительного сырья// Ростов-на-Дону, 2018.
3. Хофманн Т. и др. Количественное определение продуктов реакции Майяра в кормах для животных. Eur Food Res Technol 246, 253-256 (2020).

References

1. Golovina N.N. i dr. Analiz sostojanija i perspektivnye napravlenija razvitija akvakul'tury: nauch. analit. obzor // M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2019. – 88 s.
2. Bahchevnikov O.N. i d.r. Tehnologii i oborudovanie dlja jekstrudirovanija rastitel'nogo syr'ja// Rostov-na-Donu, 2018.
3. Hofmann T. i dr. Kolichestvennoe opredelenie produktov reakcii Majjara v kormah dlja zhivotnyh. Eur Food Res Technol 246, 253-256 (2020).