

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

<sup>1</sup>Рудой Д.В., <sup>1,2</sup>Пахомов В.И., <sup>1</sup>Чигвинцев В.В., <sup>1</sup>Магомедов М.Г., <sup>1</sup>Мальцева Т.А., <sup>1</sup>Саакян С.Р., <sup>1</sup>Бабаджян А.С.

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация  
<sup>2</sup>Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье в качестве сырья для экструдирования рассмотрена зерновая и незерновая части многолетних зерновых колосовых культур, представлены технологические параметры процесса холодной и горячей экструзии, дана их сравнительная характеристика, выявлены достоинства и недостатки.

Рассмотрена конструкция пресс-экструдера, его функциональная схема. На основании выявленной проблемы неравномерного износа витков шнека бела предложена модернизация пресс-экструдера Е-1500, заключающегося в замене цельнолитого шнека на сборный.

**Ключевые слова.** Аквакультура, комбикорма, пресс-экструдер, многолетние зерновые, растительное сырье, экструдирование.

## MODERNIZATION OF A PRESS EXTRUDER FOR EXTRUDING PERMANENT GRAIN CROPS

<sup>1</sup>Rudoy D.V., <sup>1,2</sup>Pakhomov V.I., <sup>1</sup>Chigvintsev V.V., <sup>1</sup>Magomedov M.G., <sup>1</sup>Maltseva T.A., <sup>1</sup>Saakian S.R., <sup>1</sup>Babajanyan A.S.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation  
<sup>2</sup>Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation

**Abstract.** In this article, the grain and non-grain parts of perennial cereal crops are considered as raw materials for extrusion, the technological parameters of the cold and hot extrusion process are presented, their comparative characteristics are given, and the advantages and disadvantages are identified.

The design of the press extruder and its functional diagram are considered. Based on the identified problem of uneven wear of the screw coils, the modernization of the E-1500 extruder was proposed, which consists in replacing the solid screw with a prefabricated one.

**Keywords.** AQUACULTURE, compound feed, press extruder, perennial grains, vegetable raw materials, extrusion.

**Введение.** Исследования современного состояния отечественной комбикормовой промышленности показывают, что одной из стратегических задач, стоящих перед этой отраслью, является вывод ее к устойчивому развитию за счет повышения конкурентоспособности продукции, улучшения качества, повышения эффективности производства и внедрения инноваций. Для реализации этих стратегических направлений в условиях высокой конкуренции, необходимо всестороннее оценивать и анализировать динамику и тенденцию развития страны, экономических и производственных процессов.

При этом ставится цель использовать максимальный потенциал имеющихся ресурсов, как между отдельными промышленными предприятиями, так и в рамках реализации стратегии развития агропромышленных комплексов Российской Федерации в целом и в долгосрочной перспективе [1].

В настоящее время аквакультура в России характеризуется постепенно увеличивающимся производством. Эта тенденция возникает на фоне резкого сокращения запасов естественных популяций рыб из-за их сверхинтенсивного промышленного лова и сопутствующими возникшими проблемами сохранения биоресурсов морей и других рыбохозяйственных водоемов.

Качество корма влияет на скорость роста, созревание половых продуктов и выживаемость рыб. Полнорационные комбикорма полностью покрывают всю потребность биологических, питательных, минеральных веществ. Такой рацион используют в кормлении рыб, кур, молодняка и других видов. Одной из основных задач для комбикормового производства является создание качественного комбикорма, который соответствовал бы всем необходимым требованиям [2,3]. На данный момент большинство отечественных предприятий по изготовлению сухих комбикормов производят

некачественную продукцию из дешевого сырья и не могут составить конкуренцию зарубежным производителям. Многие производители используют устаревшую технологию сухого прессования, которая является неэффективной. Корма, изготовленные по этой технологии, быстро набухают и растворяются. Большинство развитых стран используют технологию экструдирования, которая позволяет изготавливать эффективные комбикорма. Поэтому обеспечение максимального снижения энергоемкости процесса экструзии при одновременном улучшении качества экструдата является современным направлением развития экструзионных технологий.

В пищевой и комбикормовой промышленности при переработке растительного сырья применяют шнековые пресс – экструдеры. Чаще используют одношнековые экструдеры из-за меньшей энерго – и металлоемкости. Для тщательного перемешивания используют двухшнековые пресс-экструдеры и в основном для больших объемов. Недостатком двухшнекового пресс – экструдера является сложность конструкции [4].

**Процесс экструдирования.** В технологии производства комбикормов одним из процессов является процесс экструдирования. Экструдированные комбикорма имеют пористую внутреннюю структуру, которая образуется за счет резкого выброса пара из материала кормовой смеси во время его выхода из экструдера. Под действием давления и температуры в кормовой смеси происходит денатурация белка, декстринизация крахмала и его стерилизация [5,6].

В качестве сырья для производства комбикормов могут быть использованы многолетние зерновые культуры, такие как многолетняя озимая пшеница (трититригия) сорт «Памяти Любимовой» и Пырей сизый сорт «Сова», представленные на рисунке 1.

Особенностью данных культур является отрастание зеленой массы после уборки основного урожая. Зеленая масса содержит витамины, макро – и микроэлементы, которые необходимы в кормлении животных. Многолетняя озимая пшеница (трититригия) сорт «Памяти Любимовой» обладает более высоким содержанием белка свыше 18 %. В сравнении с однолетней пшеницей, среднее содержание белка в которой от 12 % до 14 %. Улучшить качество комбикормов можно за счет введения в комбикорма новых видов растительного сырья, содержащие сбалансированный комплекс белков, липидов, аминокислот, минеральных веществ, витаминов, которые обладают высокими питательными и пищевыми свойствами [7,8].



Рисунок 1 – Образцы пшеницы  
а) однолетняя озимая пшеница; б) пырей сизый сорт «Сова»;  
в) многолетняя озимая пшеница (трититригия) сорт «Памяти Любимовой»

Процесс экструдирования в технологии производства комбикормов может быть применен в двух случаях: как основной процесс приготовления гранулированных комбикормов (холодная экструзия) и как один из этапов подготовки растительного сырья с целью повышения его усвояемости и улучшения органолептических свойств (горячая экструзия) [9, 10]. Комбикорма для рыб и домашних животных в настоящее время изготавливают как холодным, так и горячим экструдированием.

При холодном экструдировании комбикорм на начальном этапе готовится по технологии приготовления рассыпного комбикорма, после чего полученная смесь подвергается экструдированию. Рассыпной комбикорм, подвергнутый в ходе экструдирования действию высокого давления и температуры, продавливается через отверстия матрицы экструдера и измельчается. Измельченные до необходимого размера частицы комбикорма (от 0,5 до 10 мм) также называют гранулами, но их следует отличать от гранул, полученных по традиционной технологии гранулирования путем прессования. Плотность получаемых гранул зависит от степени взрыва экструдатов и, соответственно, от рецепта комбикорма (в частности, соотношения крахмалистых и некрахмалистых компонентов и жирности продукта) [11,12]. Экструдированный комбикорм имеет высокую водостойкость и хорошо сохраняет форму гранул.

Процесс горячего экструдирования происходит при давлении от 3 МПа до 5 МПа и температуре от 120 °С до 200 °С. [13, 14]. Таким образом, горячее экструдирование целесообразно использовать либо как процесс подготовки компонентов комбикорма – зернового сырья, либо для производства комбикормов, в составе которых присутствуют в основном растительные компоненты. В состав комбикорма для рыб входит рыбная мука – основной источник белка. Высокие температуры будут оказывать негативное влияние на качество белка, поэтому с целью сохранения качества дорогостоящих компонентов, целесообразно применять экструдер на этапе подготовки зернового в технологии приготовления комбикормов для рыб [15].

**Пресс экструдер.** Одношнековые экструдеры используются чаще, чем двухшнековые. Низкая цена одношнековых экструдеров и простота конструкции, высокая ремонтпригодность собственными силами, стали причинами широкого распространения подобных машин в малом бизнесе. Создание пресс-экструдера, конструкция которого позволит изменять параметры, воздействующие на обрабатываемый материал, в зависимости от его структуры, является приоритетным направлением исследований в области получения высококачественных комбикормов [15].

В качестве базовой модели выбран пресс-экструдер Е – 1500. Такая машина предназначена для производства экструдированных комбикормов для сельскохозяйственных и домашних животных, птицы и рыбы и других видов, путем экструдирования зерновых культур. На рисунке 2 рассмотрена функциональная схема, на которой показаны процессы, протекающие в машине.

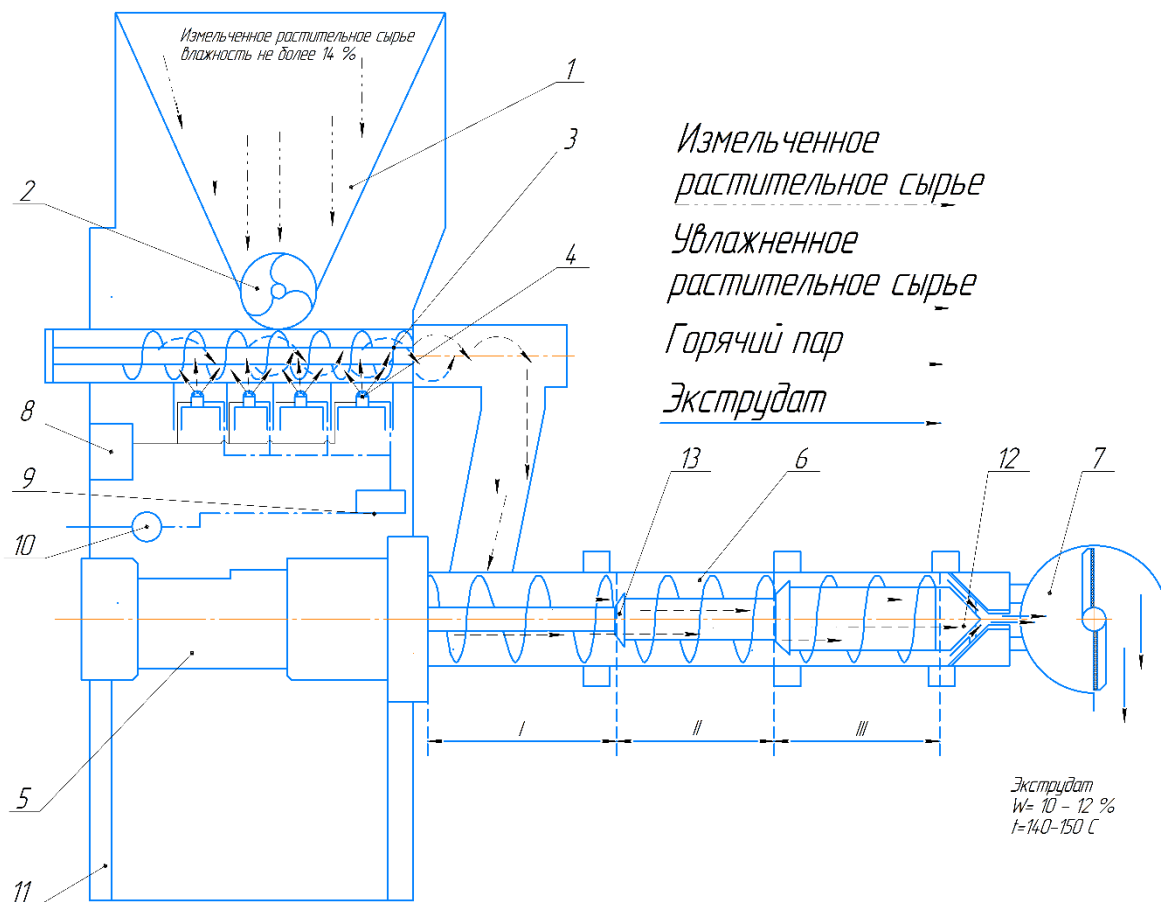


Рисунок 2 – Функциональная схема пресс – экструдера Е – 1500

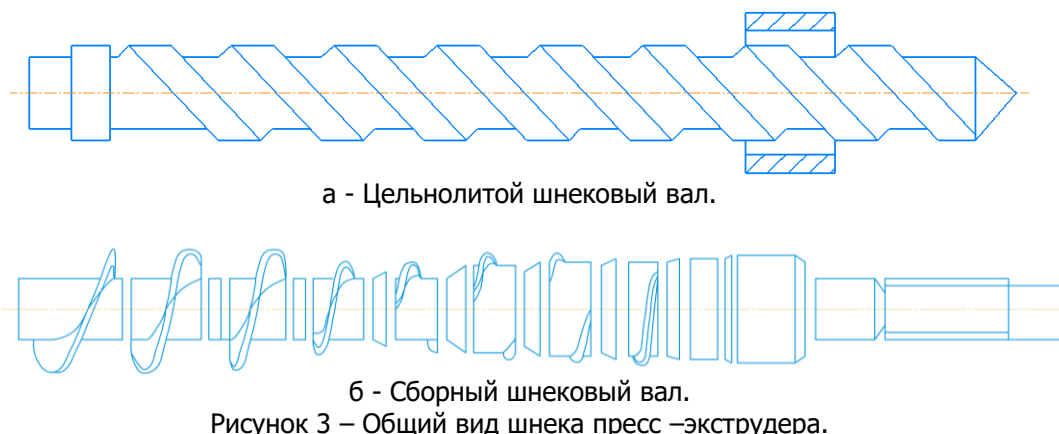
1 – бункер загрузочный, 2 – смеситель, 3– узел шнека подающего, 4 – форсунки, 5 – узел шпиндельный, 6 – вал прессующий, 7 – узел отсекателя, 8 – коллектор пара, 9 –коллектор конденсата, 10 –отводчик конденсата, 11 – рама, 12 – запорный конус, 13 – коническое промежуточное кольцо.

Измельченное растительное сырье загружается в бункер (поз.1). Из бункера растительное сырье поступает в смеситель (поз. 2), где оно смешивается. Через форсунки (поз.4) и коллектор пара (поз.8) в винтовой питатель (поз.3) подается пар под давлением до 320-490 кПа. Проходя через форсунки в слой растительного сырья, перемещающегося в шнеках, пар редуцируется и конденсируется, отдавая свое тепло и влагу зерну. Полученный конденсат собирается в коллекторе (поз. 9) и выводится через отводчик (поз. 10). Растительное сырье нагревается и увлажняется, а давление пара в шнеках становится почти равным атмосферному. Обработка растительного сырья

паром позволяет сократить в 2-4 раза время, необходимое для изменения физико-биологических свойств зернового сырья. Из смесителя винтовым питателем (поз.3) смесь подается в рабочую зону экструдера (поз. 6). Первая часть (I) рабочей камеры экструдера называется зоной смешивания или зоной питания, где растительный материал перемещается по винтовому каналу шнека, где подвергается дополнительному перемешиванию и измельчению. Расход растительного сырья в этой зоне зависит от диаметра шнека, глубины его нарезки и шага резьбы. По ходу продвижения материала в зону выгрузки глубина нарезки и шаг витка уменьшается, а диаметр вала увеличивается. Вторая часть (II) рабочей камеры экструдера называется зоной уплотнения, где происходит увеличение давления и температуры растительного материала. Давление в растительном сырье возрастает по мере продвижения из зоны загрузки в зону выгрузки и достигает до 2-5 МПа. Температура растительного материала в зоне плавления достигает 40-60 °С.

Третья часть (III) рабочей камеры экструдера называется зоной структурообразования, где растительное сырье гомогенизируется. Температура достигает 120-150 °С. В конце этой зоны материал представляет собой однородную массу. При выходе массы под действием резкого изменения давления происходит почти мгновенное испарение как свободной, так и части связанной влаги, и изменение физической структуры растительного материала, в частности резкое увеличение его объема и пористости, что приводит к окончательному формированию экструдата. Далее однородная масса проходит через формирующую матрицу, и отрезается с помощью отсекателя (поз. 7) [16].

**Модернизация.** Анализ конструкции экструдера показал, что одной из проблем является неравномерный износ витков шнека в зонах II и III за счет создаваемого высокого давления. При изнашивании витков зазор между витком шнека и внутренней частью рабочей камеры увеличивается, в результате происходит частичное проскальзывание экструдированного материала, что приводит к снижению давления, температуры, и, соответственно, качеству процесса экструдирования. Модернизация экструдера заключается в замене цельнолитого шнека на сборный, рисунок 3 (а,б). Преимущество такого шнека заключается в следующем: во-первых, процесс его изготовления и сборки упрощается; во-вторых, такая конструкция позволяет заменить только ту часть шнека, где витки сильно изнашивались. Это является экономически выгодным, поскольку заменяется не весь шнек, а только часть.



**Выводы.** Для промышленного производства экструдеров такого вида, как Е-1500, необходимо провести дополнительные исследования по обоснованию конструктивных параметров шнека и камеры экструдера. Результаты будут представлены в дальнейших исследованиях.

#### Список использованных источников

1. Пономорев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М.: МОРКНИГА, 2013.-410 с.
2. Пономарев С.В. Кормопроизводство и кормление объектов аквакультуры в России / С.В. Пономарев, Е.А. Гамыгин // Тезисы докладов международной конференции: Инновационные технологии аквакультуры. - Ростов-на-Дону, 2009.-С.104-106.
3. Рыжков Л.П., Кучко Т.Ю., Дзюбук И.М. Основы рыбоводства. – М.: Лань, 2011. - 528 с.
4. Тимофеева, Д.В. Модернизация рабочего органа типового одношнекового пресс-экструдера / Д.В. Тимофеева В.Г. Коротков, В.П. Попов, С.В. Антимонов // Хлебопродукты. – 2014. – № 10. – С. 50–52.
5. Rudoy D., Pahomow V., Malceva M., Sarkisian D., Saakian S.. / Overview of methods of wheat grain conservation in early stages of ripeness // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. Is. 2. – Article 022113. – (Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of

Agriculture in the Far East (AFE 2021) 20-21 June 2021, Ussurijsk, Russian Federation) – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/937/2/022113>

6. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Саркисян Д.С., Мальцева Т.А., Саакян С.Р. / Анализ способов консервации зерна пшеницы на ранних стадиях спелости // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2021»). сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции, с применением дистанционных технологий. – с. Дивноморское, 2-6 сен. 2021 г. – Ростов н/Д.: ДГТУ-Принт, 2021 г. - С. 131-137

7. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Бабаджанян А.С., Мальцева Т.А., Саакян С.Р./ Многолетние культуры как альтернатива зернового сырья в экструдированных кормах для сельскохозяйственных животных // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2021»). сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции, с применением дистанционных технологий. – с. Дивноморское, 2-6 сен. 2021 г. – Ростов н/Д.: ДГТУ-Принт, 2021 г. - С. 131-137.

8. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Саркисян Д.С., Меркер А.А., Саакян С.Р., Журавлева А.А., Мальцева Т.А. / Использование зеленой части многолетних зерновых культур в комбикормах для непродуктивных животных // «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса» (Конференция «ИНТЕРАГРО 2022») с применением дистанционных технологий - юбилейный сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции (02-04 марта 2022 г.) / ред. кол. И.М. Донник [и др.]; ДГТУ – Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2022. – 414 с.

9. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Саркисян Д.С., Саакян С.Р., Рева Е.Н., Мальцева Т.А. / Перспективы использования многолетних зерновых культур в пищевом производстве // «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса» (Конференция «ИНТЕРАГРО 2022») с применением дистанционных технологий - юбилейный сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции (02-04 марта 2022 г.) / ред. кол. И.М. Донник [и др.]; ДГТУ – Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2022. – 414 с.

10. Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Давыдова С.А., Лозовский А.Р. Анализ состояния и перспективы развития производства комбикормов и кормовых добавок для животноводства: науч. аналит. обзор. – М: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 88 с.

11. Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Хлыстунов В.Ф.// Экструдирование кормов для аквакультуры (обзор) // DOI 10.33952/2542-0720-2021-1-25-38-49 Таврический вестник аграрной науки \*№ 1(25) 2021

12. Пахомов В.И., Рудой Д.В., Тупольских Т.И., Соловьев А.Н., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н. Технологии и оборудование для экструдирования растительного сырья: учеб. пособие; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – 108 с.

13. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Алферов А.С., Бахчевников О.Н., Бендова Е.В., Рухляда А.И., Чернуцкий М.В. / Технологический регламент экструдирования смеси зерновых и зеленых кормов при внутрихозяйственном приготовлении комбикормов. – Волгоград: ФГБНУ АНЦ «Донской», 2017. – 60 с.

14. Рудой Д.В. Исследование технологического процесса и определение рациональных параметров шнекового экструдера для производства комбикормов: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства (по техническим наукам) / Рудой Дмитрий Владимирович – г. Ростов-на-Дону 2015, 200

15. Мальцева, Т.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров шнекового пресса для переработки биомассы насекомых в биологически ценные добавки к кормам: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мальцева Татьяна Александровна. – Ростов-на-Дону, 2022. – 182 с. – EDN QQISMU.

16. Пахомов В.И., Рудой Д.В., Брагинец С.В. и др.// Технологии и оборудование для производства комбикормов и премиксов: учеб. пособие / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. – 228 с.

Работа выполнена в рамках исполнения гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1700.2021.5, соглашение № 075-15-2021-179). Исследование выполнено при поддержке гранта в рамках конкурса «Наука-2030».