

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363.285

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## Условия эксплуатации шнеков экструдеров в кормопроизводстве для животноводства

*Д.М. Скороходов<sup>1</sup>, А.Н. Скороходова<sup>2</sup>, С.С. Басов<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [d.skorokhodov@rgau-msha.ru](mailto:d.skorokhodov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184><sup>2</sup> [red-green216@mail.ru](mailto:red-green216@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X><sup>3</sup> [basovserega@mail.ru](mailto:basovserega@mail.ru)

**Аннотация.** Качество корма влияет на продуктивность сельскохозяйственных животных. Оптимизировать его приготовление можно с помощью экструдеров. Шнеки экструдеров подвергаются абразивному и коррозионному изнашиванию. Износ шнека экструдера является важным критерием при оценке работоспособности машины. Анализ производства кормовых экструдеров показал, что большинство экструдеров для кормопроизводства и запасных частей к ним являются импортными. С целью необходимости замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью, рассмотрены условия эксплуатации кормовых экструдеров и выявлены наиболее значимые причины износа шнеков. Проведен анализ научных публикаций по оценке различных показателей (структура сталей, содержание сторонних примесей в составе сталей, плотность сталей, температура, нагрев и др.), влияющих на износостойкость и коррозионную стойкость шнеков кормовых экструдеров. Рассмотрены процессы, протекающие в молекулярной структуре перерабатываемого сырья. В результате установлено, что износ шнеков обусловлен несоответствием их геометрических и физико-механических параметров, повышенной кислотностью перерабатываемой смеси и особенностями режима работы (повышенные значения температуры 100...180°C, влажность кормовых смесей 10...30%, давление прессования 3,0...5,0 МПа). В зависимости от типа получаемого корма его химический состав варьируется: содержание белков – от 20 до 40%, углеводов – 50...80%, жиров – 10...35%. Повысить прочность рабочих органов экструдеров можно за счет получения износостойких и стойких к коррозии покрытий на рабочих кромках рабочих органов экструдеров. Необходимо разрабатывать отечественные технологии и роботизированные средства в целях упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин для животноводства. Для решения этой задачи необходимы новые материалы и технологии.

**Ключевые слова:** животноводство, комбикорм, экструдер, рабочий орган, шнек, зерновое сырье, технологический процесс, износ

**Финансирование.** Работа выполнена за счет средств Программы «Научная стажировка» в рамках развития университета «Агропрорыв-2030» программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030» (приказ от 1 ноября 2022 г. № 1082, тема «Исследование конструкционных материалов и нано-структурированных функциональных покрытий для сельскохозяйственной техники и оборудования»).

**Для цитирования:** Скороходов Д.М., Скороходова А.Н., Басов С.С. Условия эксплуатации шнеков экструдеров в кормопроизводстве для животноводства // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 19-26. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## ORIGINAL PAPER

## Operating conditions of extruder screws in livestock feed production

*D.M. Skorokhodov<sup>1</sup>, A.N. Skorokhodova<sup>2</sup>, S.S. Basov<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [d.skorokhodov@rgau-msha.ru](mailto:d.skorokhodov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184><sup>2</sup> [red-green216@mail.ru](mailto:red-green216@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X><sup>3</sup> [basovserega@mail.ru](mailto:basovserega@mail.ru)

**Abstract.** The quality of the forage affects the productivity of farm animals. Its preparation can be optimized with the use of extruders. Extruder screws are subject to abrasive and corrosive wear. Extruder screw wear is an important criterion in assessing the performance of the machine. The analysis of feed extruder production has shown

that the majority of extruders and their spare parts are imported. To provide for domestic substitutes for expensive imported working tools having high wear resistance and serviceability, the authors considered the operating conditions of feed extruders and revealed the most significant causes of screw wear. They analyzed scientific publications on estimation of various parameters (structure of steels, content of foreign impurities in steel composition, steel density, temperature, heating, etc.) influencing wear resistance and corrosion resistance of feed extruder screws; particular attention was paid to the molecular structure changes of processed raw materials. As a result it is established that wear of screws is caused by the discrepancy of their geometrical and physical-mechanical parameters, increased acidity of processed mixture and peculiarities of the operation mode (increased values of the temperature of 100 to 180°C, the moisture content of fodder mixtures of 10 to 30%, and the extrusion pressure of 3 to 5 MPa). Depending on the type of fodder obtained, its chemical composition varies: protein content – from 20 to 40%, carbohydrates – from 50 to 80%, fats – from 10 to 35%. It is possible to increase the durability of extruder working tools by depositing wear-resistant and corrosion-resistant coatings on their working edges. It is necessary to develop domestic technologies and robotic means for strengthening of working tools of agricultural machines for livestock breeding. New materials and technologies are needed to solve this problem.

**Keywords:** livestock farming, compound feed, extruder, working tool, screw, grain raw materials, technological process, wear

**Funding.** The work was funded by the “Scientific Internship” Programme within the framework of the University development “Agroproryv-2030” project of the academic strategic leadership program “Priority-2030” (order of November 1, 2022 No. 1082, topic “Research of structural materials and nano-structured functional coatings for agricultural machinery and equipment”).

**For citation:** Skorokhodov D.M., Skorokhodova A.N., Basov S.S. Operating conditions of extruder screws in livestock feed production. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):19-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## Введение

Полнорационное и сбалансированное кормление животных способствует росту их продуктивности и получению высококачественных продуктов питания. В структуре себестоимости продукции животноводства 50...70% всех затрат приходится на корма [1].

Концентрированные корма в отличие от комбикорма не в полной мере удовлетворяют потребности животных в необходимых питательных веществах по причине неполноценного минерального состава и протеина невысокой питательной ценности. Введение комбикормов в рацион коров повышает их удои на 10...20%, затраты корма на образование молока при этом снижаются на 7...15%, что в свою очередь снижает себестоимость продукции. Белково-витаминно-минеральные добавки и премиксы в рационе свиней повышают их продуктивность на 15...20%.

В животноводческих хозяйствах наблюдается значительный дефицит комбикормов [2]. Оптимизировать технологический процесс приготовления высокопитательных, готовых к употреблению кормов позволяют экструдеры. Отметим, что все рабочие органы кормоприготовительного оборудования, представленные на выставках «Золотая осень-2022» и «Agrosexpro-2023», – зарубежного производства (Турция, Германия, Франция и др.) [3]. Первое место по производству экструдеров для пищевой промышленности занимает Китай (18,6%), второе место – Италия (17%), Германия

находится на третьем месте (12%), а на долю России приходится 9% (рис. 1)<sup>1</sup>.

Главным рабочим органом экструдеров является шнек. Экструдеры подразделяются на одношнековые и многошнековые. Шнеки бывают однозаходными, многозаходными, с прерывными и непрерывными лопастями, с переменным диаметром, с переменным

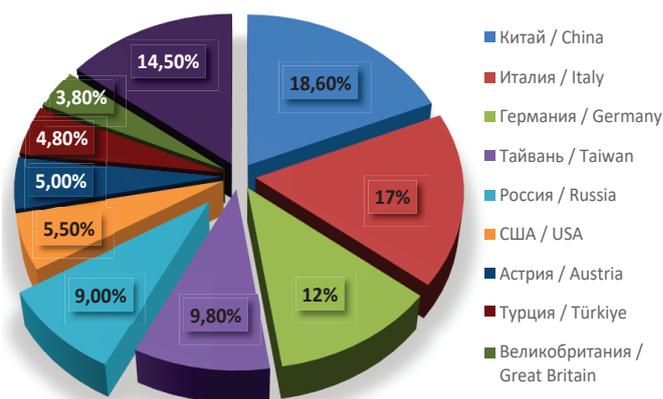


Рис. 1. Производство экструдеров для пищевой промышленности

Fig. 1. Production of extruders for the food industry

<sup>1</sup> Мартынова Д.В., Попов В.П., Ханин В.П., Зиннохин Г.Б., Антимонов С.В., Сидоренко Г.А. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера: Монография. Оренбург: ИПК Университет, 2018. 208 с.

шагом, с постоянной и переменной площадью сечения и др. Чаще используют одношнековые экструдеры, имеющие меньшую энерго- и металлоемкость. Для тщательного перемешивания больших объемов предназначены многошнековые пресс-экструдеры, но они характеризуются сложной конструкцией и высокой стоимостью обслуживания.

Равномерность смешивания различных компонентов комбикормов напрямую зависит от конструктивных особенностей смесителей и режимов их работы [4]. Высокие температурные режимы работы шнеков и неправильная эксплуатация экструдеров приводят к их интенсивному износу или поломке. При этом снижается качество конечной продукции. Для обеспечения долгосрочной и эффективной работы, а также для повышения износостойкости шнеков экструдеров необходимо учитывать условия их эксплуатации.

**Цель исследований:** рассмотреть условия эксплуатации кормовых экструдеров и выявить наиболее значимые причины износа шнеков с целью дальнейшего их упрочнения и замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью.

### Материалы и методы

Проанализированы научные публикации по оценке различных показателей, влияющих на износостойкость и коррозионную стойкость шнеков кормовых экструдеров. Изучены результаты исследований отечественных компаний, занимающихся решением вопросов экструдирования корма, рассмотрены процессы, протекающие в молекулярной структуре перерабатываемого сырья.

### Результаты и их обсуждение

При производстве комбикормов экструдирование является одним из наиболее простых и эффективных способов повышения качества зернового материала [5, 6].

С целью улучшения пищевых и функциональных свойств комбикорма при его производстве используют различные по составу и структуре сырьевые продукты: крахмалосодержащее сырье (зерно, крупы, мука); источники белка (бобовые культуры, жмыхи, шроты); сахар; ароматизаторы; эмульгаторы; картофелепродукты; сухое молоко; молочные консервы; сырные и творожные порошки; отруби; вторичное сырье мясной, молочной и рыбной промышленности; биологически активные добавки и микроэлементы<sup>2</sup>.

В процессе экструдирования используют различное зерновое сырье<sup>3</sup> (рис. 2).

Производство корма для животноводства обеспечивается методом горячей (варочной) экструзии. Процесс протекает при высоких скоростях, давлении и температуре более 100°C. Влажность обрабатываемого сырья составляет 10...20%, влажность полученных кормов – 10...30%. Преимуществом горячей экструзии является готовый к употреблению продукт. Дополнительных затрат на досушивание не требуется. В процессе экструзии продукт теряет до 50% первоначальной влажности, что дает возможность включать в состав комбикорма зеленые кормовые травы без их предварительной сушки. Кормовые экструдаты влажностью 9,8...15,1% состоят из зерновых компонентов (70...90%) и растительной массы бобовых и злаковых трав, измельченной до размера не более 10 мм (10...30%). В 1 кг такого корма в пересчете на сухое вещество содержится 140...148 г сырого протеина; 40,0...41,0 г сырой клетчатки; 20...32 мг каротина, что соответствует 10,42...10,46 МДж обменной энергии.

Изучение влияния влажности и высоты фильеры на процесс экструдирования комбикормов отражено в работе [7].

Процессы, происходящие с кормовыми компонентами при экструзии, наглядно продемонстрировала компания Агро-Инжиниринг, занимающаяся разработкой и производством экструдеров для кормов в России<sup>4</sup>. Технологический процесс экструзии перерабатываемого сырья происходит при температуре до 180°C. Сырье загружается в загрузочный бункер, где происходит процесс его смешивания, и далее масса транспортируется с помощью шнека. Смешанное сырье перетирается в местах сужения между компрессионными кольцами корпуса и шнеком, при этом давление прессования достигает 3,0...5,0 МПа (рис. 3). В таких условиях перерабатываемое сырье плавится, то есть происходит диссипация (преобразование механической энергии в тепловую). Происходят изменения в молекулярной структуре перерабатываемого сырья (рис. 4), а именно: разрушаются клеточные стенки зерна, происходит клейстеризация крахмала (крахмал гидролизует и превращается в простые моносахариды и декстрины), денатурация белка (высвобождение составных частей протеина – аминокислот), разрушение витаминов, ферментов, антипитательных веществ (ингибиторы ферментов и гормонов) и ряд других биохимических изменений.

<sup>2</sup> Ваншин В.В. Экструзионная обработка растительного сырья: Учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. 108 с.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Агро-Инжиниринг. URL: <https://agro-i.ru> (дата обращения: 20.01.2024).

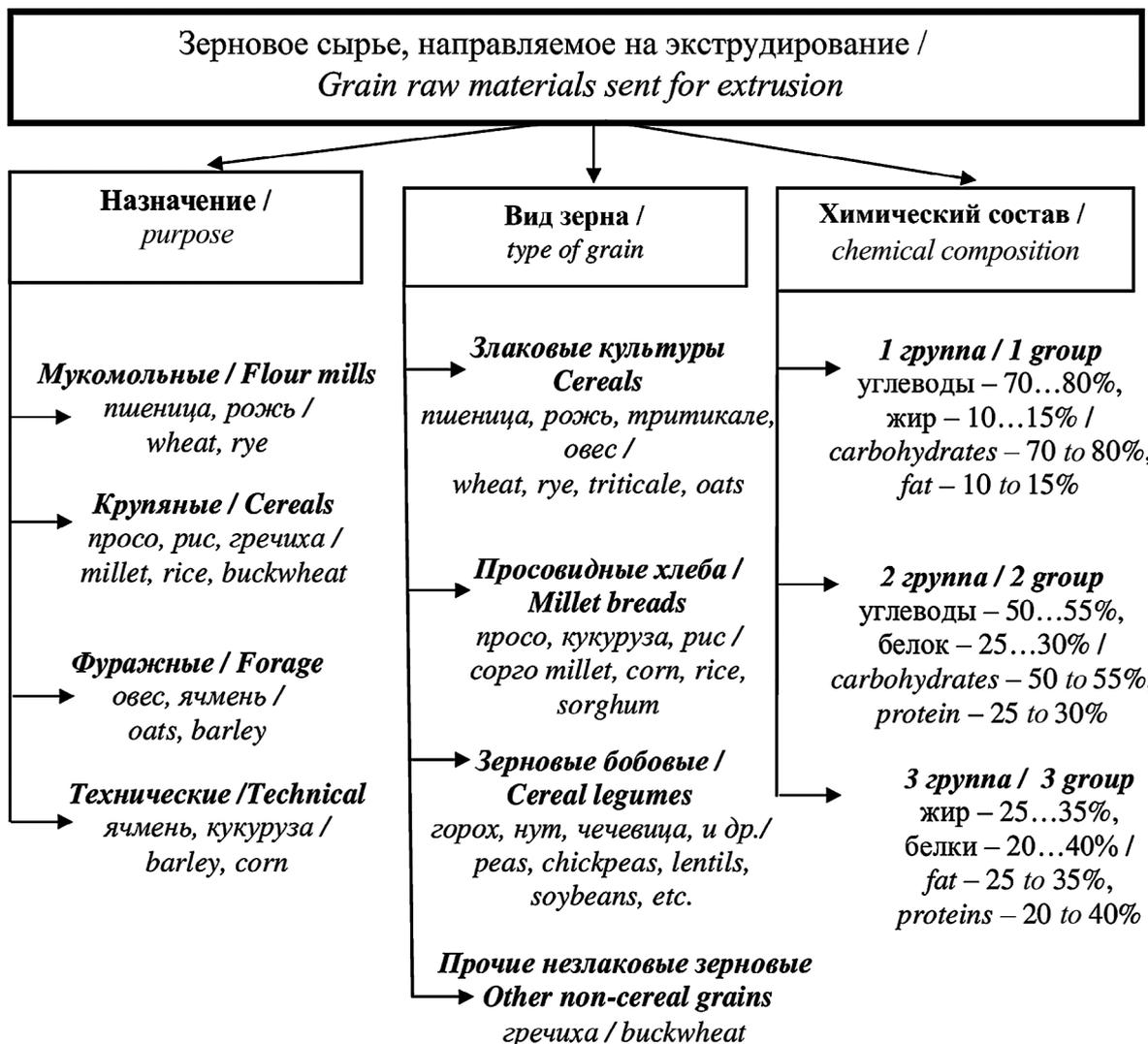


Рис. 2. Классификация зернового сырья, применяемого при экструдировании  
 Fig. 2. Classification of grain raw materials used for extrusion

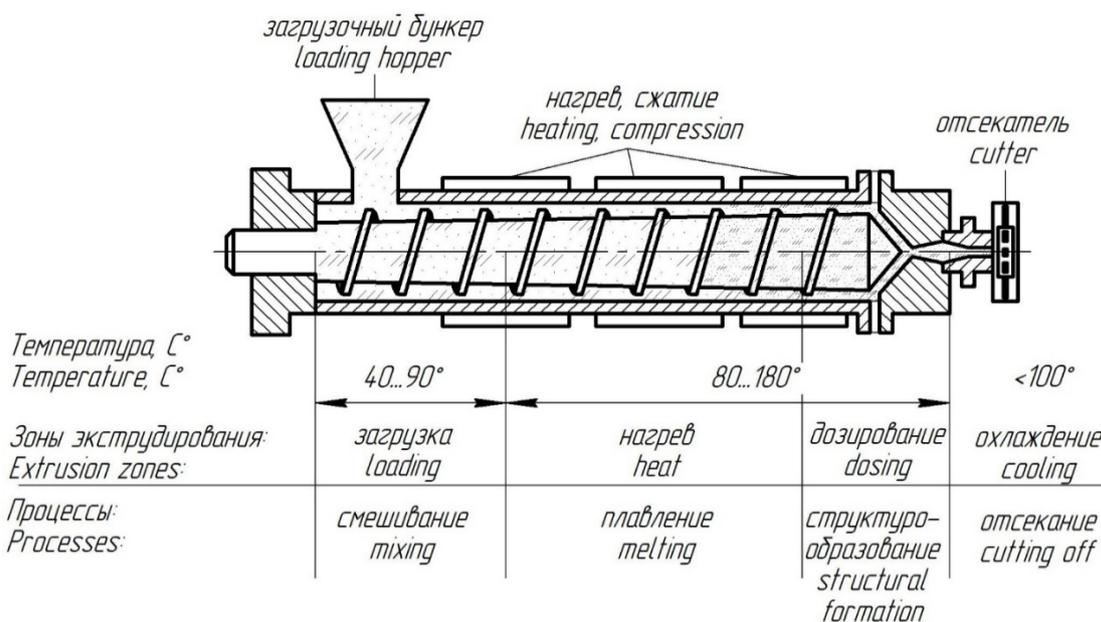


Рис. 3. Технологический процесс экструзии  
 Fig. 3. Technological process of extrusion

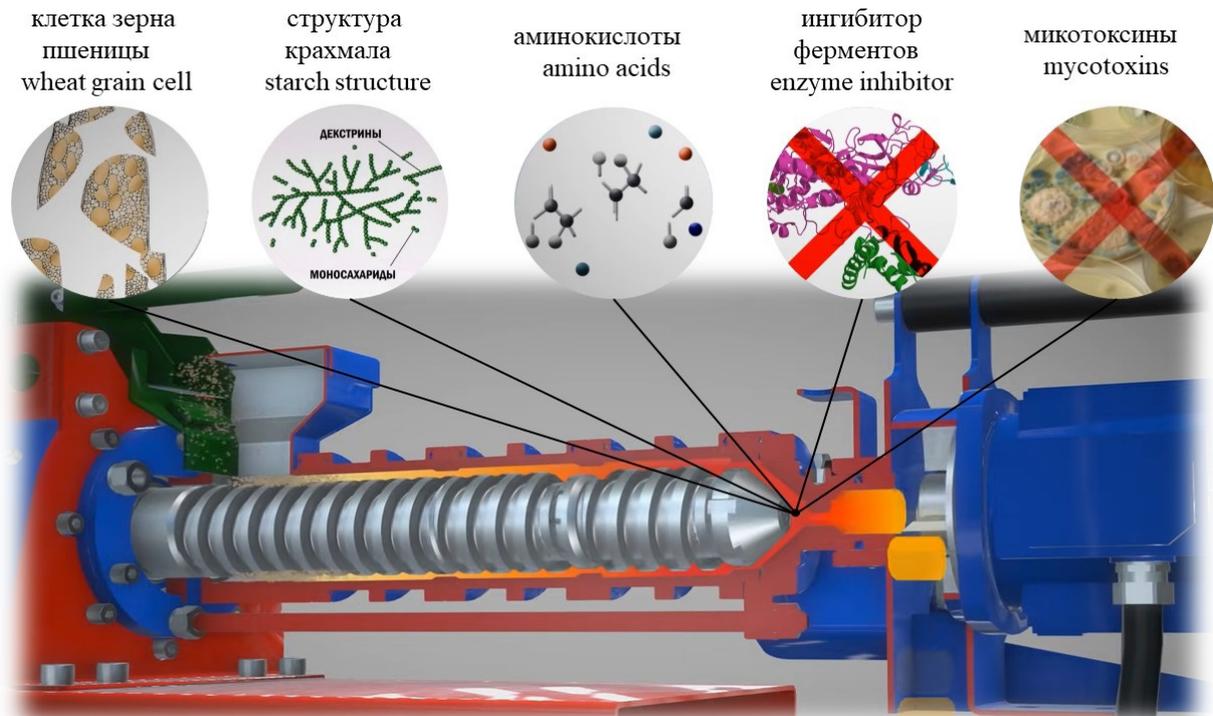


Рис. 4. Изменения молекулярной структуры перерабатываемого сырья в результате экструзии<sup>5</sup>  
 Fig. 4. Changes in the molecular structure of raw materials processed by extrusion

После стремительного выхода пара из фильеры температура сырья понижается, химические реакции быстро замедляются и останавливаются. Из экструдера выходит продукт в виде жгута (стренг) диаметром 20...30 мм с объемной массой 100...120 г/дм<sup>3</sup> и влажностью 7...9%. Его разделение на мелкие частицы происходит ножами, установленными в отсекателе, закрепленном на выходе экструдированного продукта.

Особенности условий эксплуатации экструдера и интенсивные механические нагрузки приводят к значительному износу или поломке его главного рабочего органа – шнека (рис. 5). Износ шнека экструдера является важным критерием при оценке работоспособности машины.

Различают три вида износа шнеков экструдеров: адгезионный; абразивный; коррозионный [8]. Анализ принципа работы пресс-экструдера показывает, что одной из ключевых проблем является неравномерный износ витков шнека в зоне нагрева и дозирования по причине нагнетаемой перерабатывающей массой давления. При изнашивании витков зазор между шнеком и корпусом экструдера увеличивается, происходит проскальзывание материала, что приводит к снижению давления и температуры в зоне дозирования и напрямую сказывается на энергозатратах.

В результате проведенного анализа выявлены основные причины износа шнека кормового

экструдера: холодный запуск шнека; неравномерный нагрев (шнека, цилиндра); высокое давление; повышенные температурные режимы работы; неправильная центровка шнека (цилиндра); несоответствие геометрических параметров шнека; несоответствие физико-механических параметров шнека; наличие посторонних предметов; абразивная среда эксплуатации; повышенная кислотность.

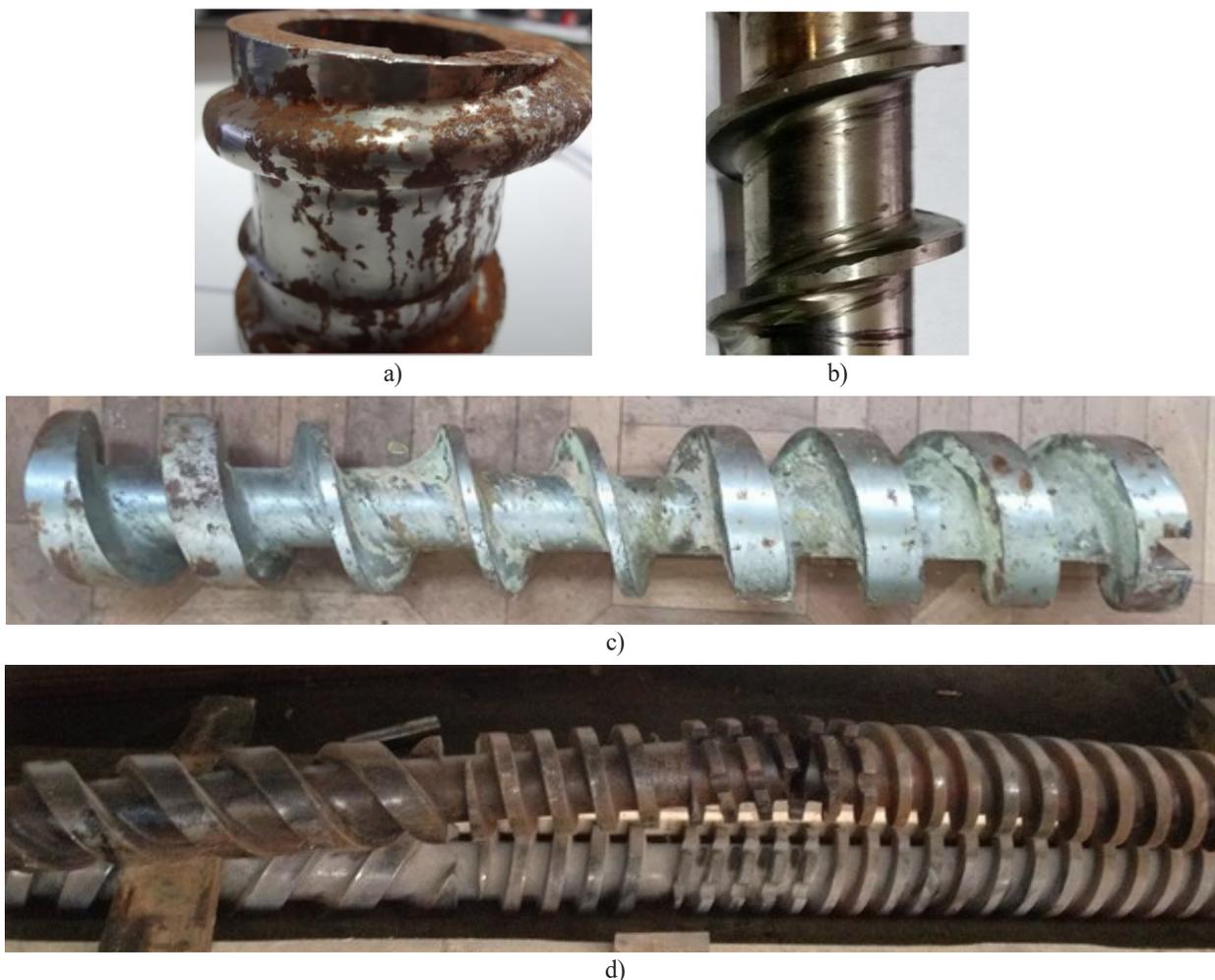
Своевременный контроль качества геометрических и физико-механических параметров деталей с использованием автоматизированных, измерительных, бесконтактных средств измерения позволит исключить использование бракованного шнека [9].

Анализ производства кормовых экструдеров показал, что большинство экструдеров и запасных частей к ним являются импортными. Некоторые применяемые материалы являются неустойчивыми к коррозии, быстро подвергаются износу. Для повышения работоспособности шнека экструдера применяют методы упрочнения, повышающие коррозионную и абразивную стойкость: закалку, наплавку и различные методы химико-термической обработки.

Материалы, применяемые для изготовления шнеков экструдеров, и их твердость до химико-термической обработки и после нее приведены на рисунке 6.

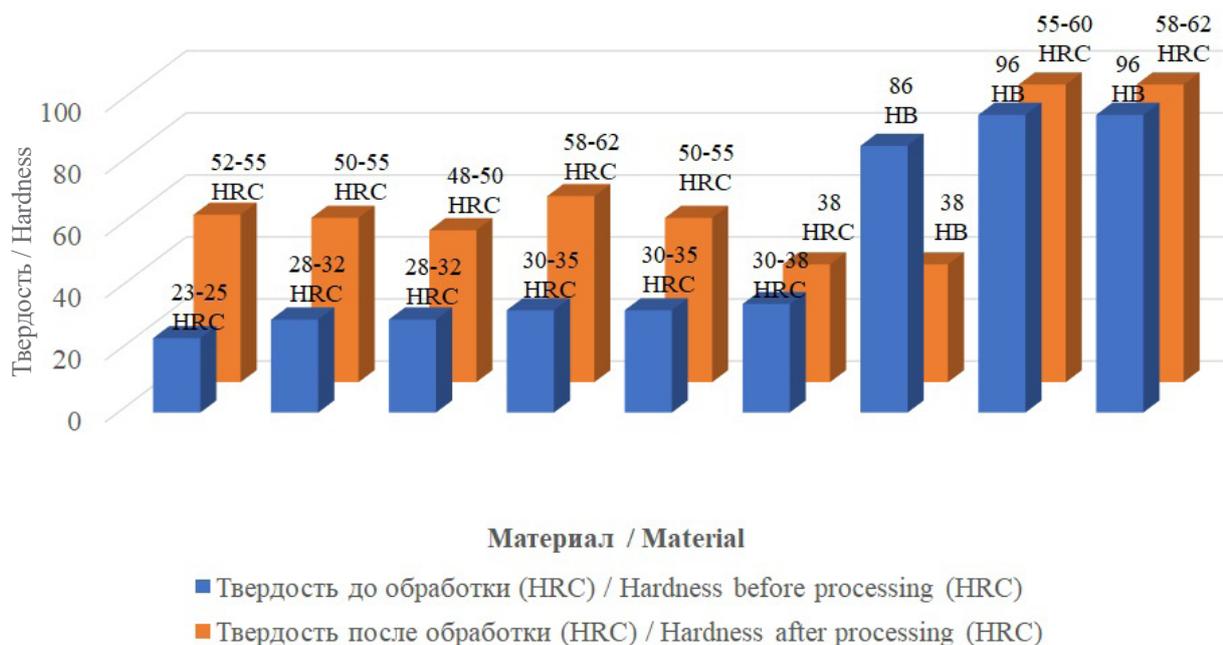
Исходя из данных рисунка 6, можно утверждать, что сталь марки Hastelloy C-276 лучше остальных

<sup>5</sup> Экструдеры, маслопрессы и комбикормовые заводы. Экструдирование кормов. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=-Uwrub2C7Ls> (дата обращения: 20.01.2024).



**Рис. 5. Износ и поломка шнеков экструдеров:**  
*a* – коррозионный износ; *b, c* – износ витка шнека по толщине и диаметру; *d* – поломка шнека

**Fig. 5. Wear and breakage of extruder screws:**  
*a* – corrosive wear; *b, c* – wear of the screw turn in terms of thickness and diameter; *d* – screw failure



**Рис. 6. Материалы и их твердость, применяемые для изготовления шнеков экструдеров**  
**Fig. 6. Materials used to manufacture extruder screws and their hardness**

сталей подходит для химико-термической обработки: имея изначальную твердость до обработки 38 НВ, получаем упрочненный слой твердостью 86 НВ.

Износостойкость шнеков можно повысить, применяя плазменную, индукционную или нитрированную закалку. Повысить коррозионную стойкость и износостойкость может наплавка специальными наплавочными электродами, позволяющими наносить поверхностный упрочненный слой на рабочую поверхность шнека. Методом химико-термической обработки получают тонкие износостойкие и коррозионностойкие покрытия [10] с повышенной твердостью и низким коэффициентом трения (хромовое, нитрид титана, карбид бора, карбид вольфрама и др.).

Одним из эффективных методов упрочнения шнеков экструдеров является диффузионное борирование<sup>6</sup> [11, 12] в обмазках нагревом токами высокой частоты. Данным способом можно регулировать толщину закаленного слоя и полностью роботизировать процесс.

<sup>6</sup>Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Диффузионные покрытия в ремонтном производстве: монография / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. 124 с. EDN: QKYHRF

#### Список источников

1. Babajanyan A., Pakhomov V., Rudoy D., Braginets S., Maltseva T. The results of the study of the amino acid composition of compound feeds during the extrusion of wheat grain with the addition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.). *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022)*. 2023;371:01074. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101074>
2. Тимофеева Д.В., Коротков В.Г., Попов В.П., Антимонов С.В., Соловых С.Ю. Обоснование оптимальных параметров экструдирования различных видов сырья в канале одношнекового пресс-экструдера // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. С. 1298-1305. EDN: SLHHVP
3. Ерохин М.Н., Гайдар С.М., Скороходов Д.М., Ветрова С.М., Барчукова А.С. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 72-78. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-72-78>
4. Овечкина Л.Ю., Бузоверов С.Ю., Лобанов В.И. Повышение эффективности процесса смешивания комбикормов путем модернизации рабочего органа смесителя // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2021. № 4-1 (55). С. 75-78. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78>
5. Бузоверов С.Ю. Использование процесса экструдирования для повышения качества зерновых продуктов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 8-2. С. 9-12. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11479>

Сравнительный анализ существующих методов упрочнения не позволяет выявить наиболее универсальный метод упрочнения рабочих органов экструдера. Для выявления эффективного метода упрочнения шнековых рабочих органов экструдера необходимо разрабатывать современные отечественные устройства и технологии, проводить исследования на износостойкость и коррозионную стойкость получаемых покрытий.

#### Выводы

1. Экструзия позволяет получить высококачественные корма, содержащие 20...40% белка, 50...80% углеводов, 10...35% жиров.
2. Условия эксплуатации рабочих органов экструдеров обуславливают их абразивное и коррозионное изнашивание. Основными причинами износа шнеков экструдера являются абразивная среда, несоответствие их геометрических и физико-механических параметров, повышенная кислотность кормов и особенности режима работы (повышенная температура – 100...180°C, влажность кормосмесей – 10...30%, давление прессования – 3,0...5,0 МПа).
3. Для замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью, необходимо совершенствовать существующие и разрабатывать новые отечественные методы их упрочнения.

#### References

1. Babajanyan A., Pakhomov V., Rudoy D., Braginets S., Maltseva T. The results of the study of the amino acid composition of compound feeds during the extrusion of wheat grain with the addition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.). *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*. 2023;371:01074. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101074>
2. Timofeeva D.V., Korotkov V.G., Popov V.P., Antimonov S.V., Solovykh S.Yu. Justification of optimal parameters for extruding various types of raw materials in the channel of a single-screw extruder. *University complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference*, Orenburg: LLC IPK "University", 2014. P. 1298-1305. (In Russ.)
3. Erokhin M.N., Gaidar S.M., Skorokhodov D.M., Vetrova S.M., Barchukova A.S. Wear resistance of low-alloy steels in the abrasive environment. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(3):72-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-72-78>
4. Ovechkina L.Yu., Buzoverov S.Yu., Lobanov V.I. Improving the efficiency of the feed mixing process by upgrading the mixer working body. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021;4-1:75-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78>
5. Buzoverov S.Yu. Using the extruding process to increase the quality of grain products. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;8-2:9-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11479>

6. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(18):2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>

7. Коротков В.Г., Полищук В.Ю., Мусиенко Д.А. Влияние влажности и высоты фильеры на процесс экструдирования комбикормов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2000. № 2. С. 117-119. EDN: HVZAXN

8. Басов С.С. Анализ видов износа и методов упрочнения шнеков кормовых экструдеров // Современные проблемы и направления развития металлургии и термической обработки металлов и сплавов: Сборник научных статей 4-й Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика А.А. Байкова. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. С. 42-46. EDN: BTMCLQ

9. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизированным измерительным устройством // Наука без границ. 2018. № 2 (19). С. 44-50. EDN: YSWRRS

10. Скороходов Д.М., Басов С.С., Денисов В.А., Свиридов А.С. Исследование микротвердости боридных покрытий, полученных на стали 65Г из различных составов борированных смесей // Технический сервис машин. 2021. № 2 (143). С. 144-150. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-2-144-150>

11. Казанцев С.П. Новая технология получения комбинированных диффузионных покрытий // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2003. № 7. С. 30-32. EDN: ZFDIGH

12. Казанцев С.П. Совершенствование технологии восстановления и упрочнения деталей машин железоборидными покрытиями // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2005. № 1. С. 30-31. EDN: HVBPTB

6. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(18):2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>

7. Korotkov V.G., Polishchuk V.Yu., Musienko D.A. Effect of humidity and die height on the process of extruding compound feeds. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2000;2:117-119. (In Russ.)

8. Basov S.S. Analysis of types of wear and methods of strengthening augers of feed extruders. *Modern problems and development trends of metallurgy and heat treatment of metals and alloys: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Academician A.A. Baykov*, Kursk: Southwestern State University, 2023. P. 42-46. (In Russ.)

9. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V., Krasnyaschikh K.A., Skorokhodov D.M. Control of quality of spare parts of agricultural machinery automated measuring device. *Nauka Bez Granits*. 2018;2(19):44-50. (In Russ.)

10. Skorokhodov D.M., Basov S.S., Denisov V.A., Sviridov A.S. Microhardness of boride coatings obtained on 65g steel from different compositions of borating mixtures. *Machinery Technical Service*. 2021;2:144-150. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-2-144-150>

11. Kazantsev S.P. New technology for producing combined diffusion coatings. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2003;7:30-32. (In Russ.)

12. Kazantsev S.P. Improving the technology of restoration and hardening of machine parts with iron-boride coatings. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2005;1:30-31. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Дмитрий Михайлович Скороходов<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доцент; d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999; Researcher ID: AFH-8012-2022

**Анастасия Николаевна Скороходова<sup>2</sup>**, канд. биол. наук, старший преподаватель; red-green216@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X>; Scopus Author ID: 57221046299; Researcher ID: AFO-7021-2022

**Сергей Сергеевич Басов<sup>3</sup>**, аспирант; basovserega@mail.ru

<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

#### Вклад авторов

Д.М. Скороходов – актуальность проблемы, формулирование основной концепции исследования;

А.Н. Скороходова – информационные ресурсы и аналитика; С.С. Басов – визуализация, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 26.02.2024, после рецензирования и доработки – 24.05.2024; принята к публикации 24.05.2024

#### Author Information

**Dmitry M. Skorokhodov<sup>1</sup>**, CSc (Eng), Associate Professor; d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999

**Anastasia N. Skorokhodova<sup>2</sup>**, CSc (Bio), Senior Lecturer; red-green216@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X>; Scopus Author ID: 57221046299; Researcher ID: AFO-7021-2022

**Sergey S. Basov<sup>3</sup>**, postgraduate student

<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

#### Author Contribution

D.M. Skorokhodov – problem statement, conceptualization;

A.N. Skorokhodova – information resources and analytics;

S.S. Basov – visualization, finalizing (revising and editing) of the manuscript.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism

Received 26.02.2024; Revised 24.05.2024; Accepted 24.05.2024