



Развитие техники и рабочих органов для приготовления кормов в животноводстве

Михаил Никитьевич Ерохин,
доктор технических наук, профессор,
академик Российской академии наук,
e-mail: n.erohin@rgau-msha.ru;

Дмитрий Михайлович Скороходов,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: d.skorokhodov@rgau-msha.ru;
Александр Сергеевич Павлов,
соискатель,
e-mail: pavlov810720@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Статья посвящена историческому анализу развития техники и рабочих органов для приготовления кормов. (*Цель исследования*) Выявление ключевых периодов в развитии техники для животноводства и классификация рабочих органов современных смесителей-кормораздатчиков. (*Материалы и методы*) Исследование выполнено на основе историко-научных источников и информационных материалов с использованием аналитического метода. (*Результаты и обсуждение*) В развитии техники для кормопроизводства выделены четыре основных периода: доиндустриальный, первичной механизации, комплексной механизации, автоматизации и роботизации. Технологическая база в доиндустриальный период (до конца XVIII века) ограничивалась ручным трудом. С XIX до середины XX века наблюдается технологический рывок, характеризуемый первичной механизацией орудий и созданием машин с механическим приводом. Начат выпуск серий машин для конкретных операций. На ранних стадиях комплексной механизации кормораздаточной техники (1950-1980-е годы) использовались стационарные и передвижные транспортеры, требовавшие участия персонала. С 1990-х годов развитие технологий сопровождалось применением машин, совмещающих приготовление и раздачу кормов. Технологическая трансформация отрасли с конца XX века по настоящее время происходит в направлении автоматизации и роботизации с использованием интеллектуальных систем, объединяющих точное дозирование, адаптивное смешивание корма и системы технического зрения, обеспечивающие точную раздачу корма. Проведенный анализ современной техники позволил составить классификацию рабочих органов смесителей-кормораздатчиков. (*Выводы*) На основе исторического анализа установлена последовательность четырех технологических периодов. Каждый период характеризовался новым уровнем интеграции и источником применяемой энергии. Развитие рабочих органов происходило по пути совершенствования от простых однофункциональных к комбинированным (шнек-нож). Разработанная классификация рабочих органов смесителей-кормораздатчиков позволяет систематизировать основные конструктивные формы ножей. Необходимость импортозамещения формирует актуальную научно-техническую задачу создания конкурентоспособных отечественных рабочих органов, материалов для них и эффективных упрочняющих технологий.

Ключевые слова: животноводство, техника, развитие техники для приготовления кормов, измельчители, смесители-кормораздатчики, рабочие органы, режущие элементы, ножи.

■ **Для цитирования:** Ерохин М.Н., Скороходов Д.М., Павлов А.С. Развитие техники и рабочих органов для приготовления кормов в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 72-80. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-72-80. EDN: HAYETK.

Scientific article

Evolution of Machinery and Working Units for Feed Preparation in Livestock Production

Mikhail N. Erokhin,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy
of Sciences,
e-mail: n.erohin@rgau-msha.ru;

Dmitry M. Skorokhodov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: d.skorokhodov@rgau-msha.ru;
Aleksandr S. Pavlov,
Ph.D. applicant (Eng.),
e-mail: pavlov810720@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents a historical analysis of the evolution of machinery and working units used in feed preparation. (*Research purpose*) To identify the key stages in the development of machinery for feed preparation and distribution and to classify the working units of modern feed mixer-distributors. (*Materials and methods*) The study is based on historical scientific sources and informational materials and applies an analytical method. (*Results and discussion*) The study identifies four main periods in the development of feed preparation technology, in particular, the pre-industrial period, the period of primary mechanization, the period of integrated mechanization, and the period of automation and robotization. During the pre-industrial period (until the end of the 18th century), the technological base was limited to manual labor. From the 19th century to the mid-20th century, a technological breakthrough occurred, characterized by the primary mechanization of tools and the emergence of machines with mechanical drives. This stage marked the beginning of serial production of machines designed for specific operations. In the early stages of integrated mechanization of feed distribution equipment (1950–1980), stationary and mobile conveyors were used, which required the participation of personnel. Since the 1990s, technological development has been associated with the introduction of machines combining feed preparation and distribution functions. From the late 20th century to the present, the technological transformation of the sector has progressed toward automation and robotization, including the use of intelligent systems that integrate precise dosing, adaptive feed mixing, and machine vision technologies to ensure accurate feed distribution. The analysis of modern machinery made it possible to develop a classification of the working units of feed mixer-distributors. (*Conclusions*) The historical analysis revealed four successive technological periods, each characterized by a new level of integration and a different source of applied energy. The development of working units progressed from simple single-function elements to combined designs (auger–knife systems). The proposed classification of feed mixer-distributor working units systematizes the main structural types of knives. The need for import substitution creates an urgent scientific and technical challenge related to the development of competitive domestic working units, suitable manufacturing materials, and effective strengthening technologies.

Keywords: livestock production, machinery, development of feed preparation equipment, crushers, feed mixer-distributors, working units, cutting elements, knives.

■ **For citation:** Erokhin M.N., Skorokhodov D.M., Pavlov A.S. Evolution of machinery and working units for feed preparation in livestock production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 72-80 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-72-80. EDN: HAYETK.

Развитие техники по приготовлению корма для сельскохозяйственных животных представляет собой последовательную смену от орудий ручного труда до автоматизации технологического процесса. Одновременно совершенствовались рабочие органы, для их изготовления подбирались износостойкие материалы, рассчитывалась конструктивная форма, обеспечивающая оптимальный угол резания. Эволюция проектирования рабочих органов включает множество аспектов. К ним помимо обеспечения прочности и износостойкости [1, 2] относятся коррозионная стойкость, стойкость к ударным нагрузкам и др.

Цель исследования: выявление ключевых исторических периодов в развитии техники для животноводства и классификация рабочих органов современных смесителей-кормораздатчиков.

Материалы и методы. Исследование проведено на основе историко-научных и информационных материалов с использованием аналитического метода и изучения различных источников: научных статей, материалов агропромышленных выставок («Золотая осень», «Агросалон», EuroTier), архивных источников (фотографии), информации официальных сайтов и каталогов компаний – производителей техники для животноводства (*Trioliet Solomix, KUHN, DeLaval, Celikel, Strautmann, Metal-Fach, KobLik Group, PFT, АКМ, KEENAN, РМН* и др.).

Результаты и обсуждение. История развития кормоприготовительной техники для животноводства включает четыре основных периода: доиндустриальный (до конца XVIII в.), первичной механизации (XIX в. – середина XX в.), комплексной механизации (1950-1980-е годы) и автоматизации и роботизации (с 1990 г. по настоящее время).

В доиндустриальный период при приготовлении корма для животных использовался ручной труд и простейшие орудия. Заготовка кормового сырья осуществлялась режущим инструментом (серп, коса), для сбора урожая использовались грабли, а при последующем измельчении применялись ударные и абразивные приспособления: каменные и деревянные ступы с пестом, жернова, тяпки-секачи (*рис. 1*). С их помощью реализовывались базовые физические принципы обработки корма, такие как резание, удар и истирание. Приготовление корма было достаточно трудоемким, а степень измельчения низкая и неравномерная. Качество корма зависело исключительно от навыка рабочего.

С XIX до середины XX века произошел первый технологический рывок в области приготовления кормов, характеризуемый как период первичной механизации. Ручные операции постепенно заменяли устройства с механическим приводом. Появились первые серийно выпускаемые сельскохозяйственные машины, выполняющие более конкретные



Рис. 1. Орудия труда для заготовки и измельчения корма, применяемые до конца XVIII в. (слева направо): серп; коса; грабли (<https://bashenc.online/ru>); мотыга (<http://old.kareliamuseum.ru>); жёрнов; деревянная ступа (<https://ru.pinterest.com>)

Fig. 1. Tools used for harvesting and chopping fodder until the end of the 18th century (from left to right): sickle; scythe; rake (<https://bashenc.online/ru>); hoe (<http://old.kareliamuseum.ru>); quern (hand mill); wooden mortar (<https://ru.pinterest.com>)

операции: корнерезки, соломорезки, зернодробилки, простейшие корне- и клубнемойки (рис. 2), создавались сельскохозяйственные машины с ручным управлением. Ключевым итогом этого этапа стала смена источника энергии – физической силы работника на мощность двигателя.

Совершенствовались рабочие органы машин, их начали изготавливать из закаленной стали, форму и конструкцию приспособляли к измельчению определенных видов корма.

Для грубых кормов применялись устройства ударно-режущего действия – сечкарня (соломорезка). Основным рабочим органом являлся ротор с закрепленными на нем прямыми или слегка изогнутыми ножами (рис. 2а).

Для переработки зерна использовались молотковые и вальцовые зернодробилки. В молотковых зернодробилках (рис. 2б) рабочим органом был ротор со свободно или шарнирно закрепленными молотками, отбивающими зерно о сито. В вальцовых зернодробилках рабочим органом выступала пара встречно вращающихся рифленых вальцов, раздавливающих зерно.

Корнерезки позволили автоматизировать самый трудоемкий процесс приготовления сочных кормов. В качестве рабочего органа в корморезках применялся перфорированный цилиндр с внутренними ножами (рис. 2с) или с насаженными терками.

К середине XX в. ручные операции были полностью механизированы, но организации механического процесса обработки кормов еще не было.

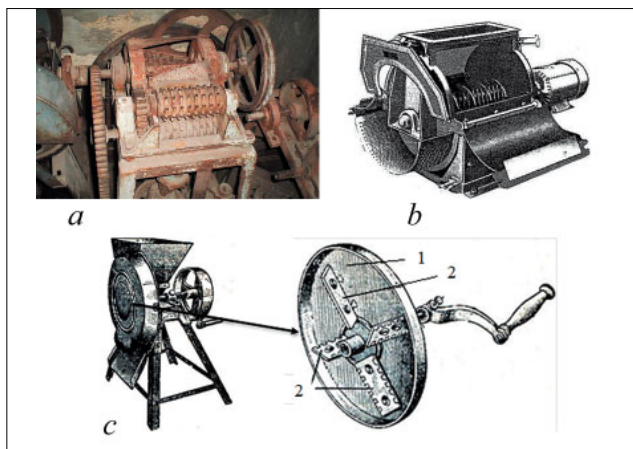


Рис. 2. Сельскохозяйственные машины для заготовки и измельчения корма, применяемые с XIX в. до середины XX в.: а – сечкарня (соломорезка) (<https://infourok.ru>); б – молотковая дробилка (<http://www.fastwood.ru>); в – корнерезка и ее режущий рабочий орган (<http://agrolib.ru>); 1 – перфорированный цилиндр; 2 – гребенчатые ножи

Fig. 2. Agricultural machines used for fodder harvesting and chopping from the 19th century to the mid-20th century: а – chaff cutter (straw cutter) (<https://infourok.ru>); б – hammer mill (<http://www.fastwood.ru>); в – root cutter and its cutting unit (<http://agrolib.ru>); 1 – perforated cylinder; 2 – comb knives

Развитие технических решений в период первичной механизации кормопроизводства концентрировалось на оптимальных конструкциях отдельных рабочих органов (ножа, молотка, вальца), что создало необходимый задел для следующего периода развития – комплексной механизации (1950-1980-е годы), когда в единой машине проходил весь процесс от сырья в поле до готового корма, загруженного в кормушки животных.

Период комплексной механизации (1950-1980-е годы) был обусловлен глобальной интенсификацией сельского хозяйства. Появились крупные промышленные животноводческие комплексы, рассчитанные на содержание сотен и тысяч голов скота. Основная задача в период комплексной механизации как в СССР, так и на Западе состояла в обеспечении резкого роста продуктивности в животноводстве.

На ранних стадиях комплексной механизации для раздачи корма использовались стационарные и передвижные транспортеры, требовавшие значительной доли ручного труда для подачи кормового компонента (рис. 3).

Развитие зоотехнической и инженерной науки в этот период доказало критическую важность сбалансированных рационов и качества измельчения корма для продуктивности животных, в связи с чем требовались сельскохозяйственные машины, способные смешивать грубые, сочные и концентрированные корма и сразу раздавать их. Началось раз-



Рис. 3. Ранний этап комплексной механизации раздачи кормового компонента для КРС (<https://commons.wikimedia.org>): а – передвижной транспортер (1957 г.); б – кормораздаточная лента (1957 г.); в – электрокар с передвижной тележкой (1958 г.); д – кормораздатчик (1960 г.)
 Fig. 3. Early stage of integrated mechanization in cattle feeding systems: а – mobile conveyor (1957); б – feed conveyor belt (1957); в – electric cart with a movable trolley (1958); д – feed dispenser (1960). Source: <https://commons.wikimedia.org>

витие технологий кормораздачи, совмещающих операцию приготовления и раздачи кормов.

В 1960-х годах инженеры в Германии, Нидерландах и США создали мелкосерийные модели прицепных смесителей-раздатчиков кормов, оснащенных простейшими смесительными устройствами (горизонтальные шнеки, ленты со скребками).

В 1975 г. голландская компания *Triolite* запустила серийное производство прицепного смесителя-кормораздатчика с вертикальным шнеком. В СССР первые отечественные измельчители-смесители-раздатчики корма появились в 1970-х годах и были представлены в основном стационарными или прицепными моделями. Некоторые из этих моделей показаны на [рисунке 4](#).

Главным рабочим органом у первых смесителей-кормораздатчиков были горизонтальные шнеки, горизонтальные ленты со скребками и в последующем вертикальные шнеки с лопастями, выполняющие исключительно смесительно-транспортирующую функцию. Для предварительного измельчения корма (сена, соломы) использовались роторные измельчители в самой машине или стационарные измельчители в кормоцехах.

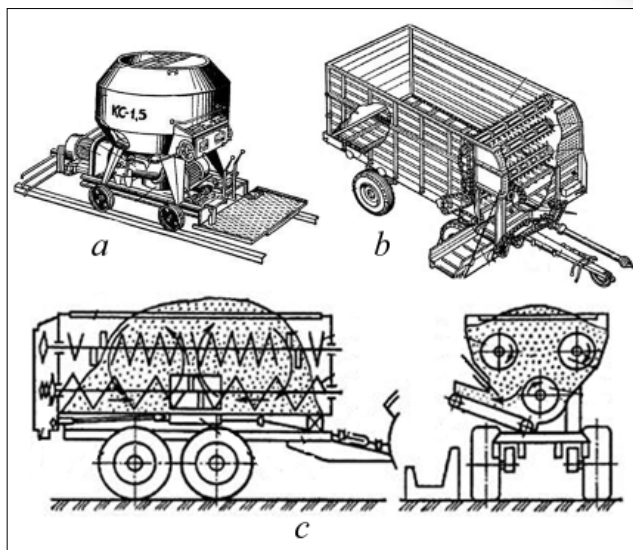


Рис. 4. Стационарные и прицепные кормораздатчики эпохи комплексной механизации (конец 1960-х – 1980-е годы): а – смеситель КСС-1,5; б – универсальный кормораздатчик КТУ-10; в – раздатчик силоса РСЦ-10 (<https://pandia.org>)
 Fig. 4. Stationary and trailed feed distributors of the integrated mechanization era (late 1960s–1980s): а – KCC-1.5 mixer; б – KTU-10 universal feed distributor; в – RSP-10 silage feeder (<https://pandia.org>)

В переходный период (1990-2000-е годы) с целью повышения эффективности и универсальности сельскохозяйственной машины, способной совместить функции смешивания и дробления комков и грубых включений при раздаче корма животным, появились новые инженерные решения. На шнеки или лопасти смесителей-кормораздатчиков устанавливали сменные износостойкие накладки из твердых сплавов (*HARDOX, Strenx*).

Начиная с 2000-х годов в смесители-кормораздатчики стали массово внедряться комбинированные рабочие органы (шнек с интегрированными ножами), выполняющие функцию измельчения. Это позволило исключить из технологического процесса предварительное измельчение на стационарных машинах и привело к возможности выполнения одной сельскохозяйственной машиной трех ключевых операций: измельчение, смешивание и раздача.

С конца XX в. отрасли животноводства и кормопроизводства вступили в фазу технологической трансформации с внедрением автоматизации и роботизации технологических процессов. Для приготовления и раздачи кормов используются интеллектуальные системы, объединяющие точное дозирование, адаптивное смешивание корма и системы технического зрения, обеспечивающие точную раздачу полнорационной кормовой смеси.

Сегодня предлагаются разнообразные модели смесителей-кормораздатчиков с расширенным функ-

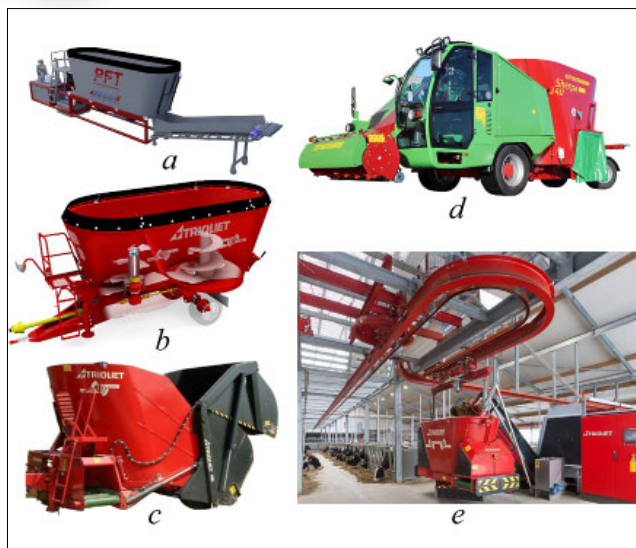


Рис. 5. Современные типы смесителей-кормораздатчиков: а – стационарные; б – передвижные; с – самозагружающиеся; д – самоходные; е – автоматические. Источники: <https://www.trioliet.ru>; <https://pro-ft.ru>; <https://www.straumann.com/ru>; каталоги фирм Trioliet, PFT, Straumann

Fig. 5. Modern types of feed mixer-distributors: a – stationary; b – mobile; c – self-loading; d – self-propelled; e – automatic. Sources: <https://www.trioliet.ru>; <https://pro-ft.ru>; <https://www.straumann.com/ru>; catalogs of Trioliet, PFT, and Straumann

ционалом, различным объемом бункера как для ферм с небольшим поголовьем животных, так и для крупных хозяйств. Основными производителями являются Trioliet Solomix (Нидерланды), KUHN (Франция), DeLaval (Швеция), Celikel (Турция), Straumann (Германия), Metal-Fach (Польша), Koblik Group (Россия, Беларусь), PFT и АКМ (Россия), Faresin (Италия), Keenan (Ирландия), RМН (Израиль) и др.

Модельный ряд машин для кормопроизводства значительно эволюционировал и помимо традиционных (стационарных и прицепных) моделей включает самоходные, самозагружающиеся и автоматические (рис. 5).

Многие смесители-кормораздатчики оснащены дополнительными рабочими органами, позволяющими повысить эффективность технологического процесса. Так, самоходные машины оснащены фрезерным рабочим органом, обеспечивающим загрузку запрессованного корма. Например, у кормораздатчиков KUHN на фрезерном рабочем органе закреплены угловые и треугольные ножи (рис. 6), позволяющие разрезать и измельчать корм в процессе загрузки.

К инновационным разработкам смесителей-кормораздатчиков Faresin модели PF относятся дополнительный рабочий орган – дробилка (рис. 7). Это

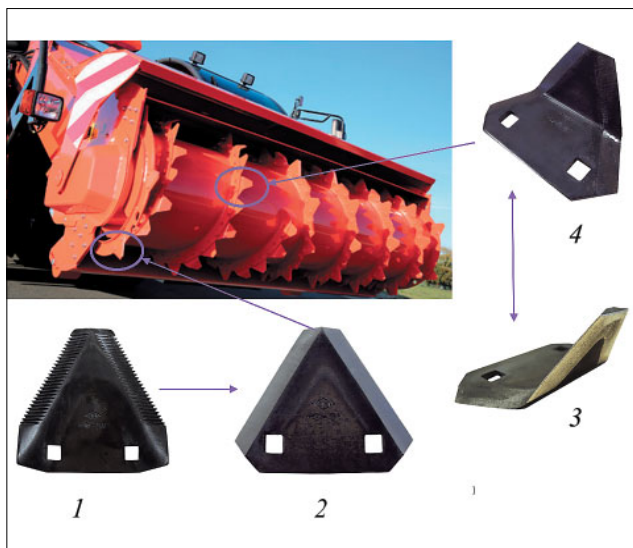


Рис. 6. Фрезерный рабочий орган самоходных смесителей-раздатчиков корма KUHN и используемые на нем ножи: 1 – зубчатый треугольный нож; 2 – треугольный нож; 3 – угловой нож с покрытием карбида вольфрама; 4 – угловой нож. Источник: <https://www.kuhn.ru>, каталоги техники для животноводства фирмы KUHN

Fig. 6. Milling working unit of KUHN self-propelled feed mixer-distributors and the knives used in it: 1 – serrated triangular knife; 2 – triangular knife; 3 – angular knife with tungsten carbide coating; 4 – angular knife. Source: <https://www.kuhn.ru>; KUHN livestock equipment catalogs



Рис. 7. Фреза с дробилкой самоходного смесителя-кормораздатчика Faresin модели PF. Источники: <https://www.faresin.com/ru>, каталоги техники для животноводства фирмы Faresin Industries

Fig. 7. Milling cutter with crusher of the Faresin PF self-propelled feed mixer-distributor. Sources: <https://www.faresin.com/ru>; livestock equipment catalogs of Faresin Industries

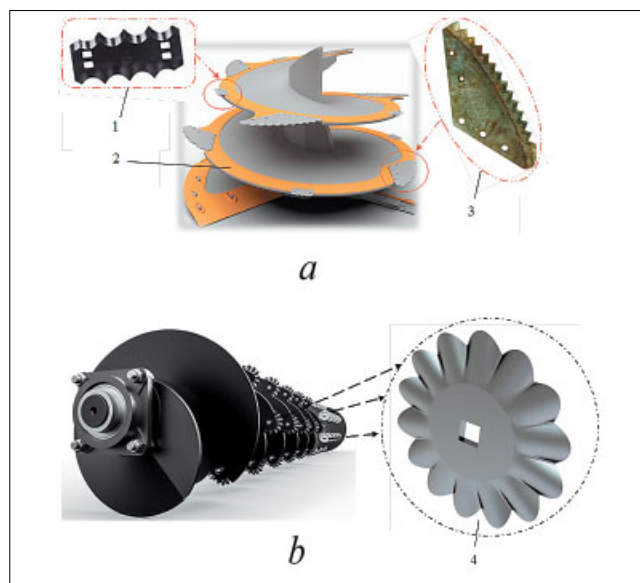


Рис. 8. Рабочие органы смесителей-кормораздатчиков: а – вертикальный шнек смесителя-кормораздатчика Faresin; б – горизонтальный шнек смесителя-кормораздатчика Celikel BRASSUS; 1 – двухсторонний зубчатый нож; 2 – износостойкая лента с лезвием; 3 – зубчатый нож формы лезвия; 4 – звездообразный нож. Источники: <https://www.faresin.com/ru>, <https://celikel.ru/>, каталогов техники для животноводства фирмы Faresin Industries и Celikel

Fig. 8. Working units of feed mixer-distributors: a – vertical auger of a Faresin feed mixer-distributor; b – horizontal auger of a Celikel BRASSUS feed mixer-distributor; 1 – double-sided serrated knife; 2 – wear-resistant strip with blade; 3 – serrated blade-shaped knife; 4 – star-shaped knife. Sources: <https://www.faresin.com/ru>; <https://celikel.ru/>; livestock equipment catalogs of Faresin Industries and Celikel

уникальная режущая конструкция с 128 ножами и тремя рядами ответных лезвий.

Активно начинают применяться на крупных фермах автоматические смесители-кормораздатчики, работающие без участия оператора по заранее установленному алгоритму: получение задания от системы управления фермой – загрузка корма – измельчение – смешивание – движение по маршруту – раздача корма – возврат на станцию. Этот исторический этап завершается переходом от управления машиной к управлению процессом через интерфейс программного обеспечения животноводческим комплексом.

Однако, несмотря на автоматизацию [3] и роботизацию кормоприготовительного процесса, совершенствование смесителей-кормораздатчиков и их рабочих органов, главным рабочим органом остается шнек с интегрированными режущими элементами – ножами (рис. 8).

Проведенный анализ сельскохозяйственной техники для животноводства позволил составить клас-

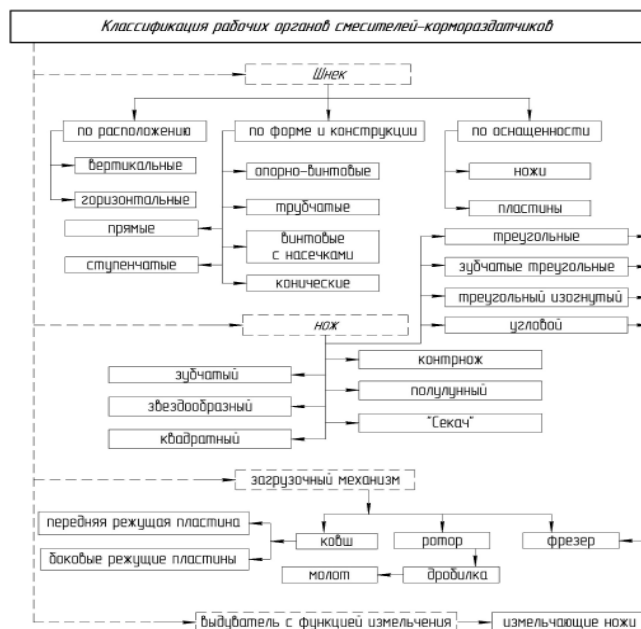


Рис. 9. Классификация рабочих органов современных смесителей-кормораздатчиков

Fig. 9. Classification of working units used in modern feed mixer-distributors

сификацию рабочих органов современных смесителей-кормораздатчиков (рис. 9).

Рабочие органы смесителей-кормораздатчиков подвергаются интенсивному коррозионно-механическому воздействию, абразивному износу при контакте с твердыми включениями в кормовом сырье, ударным нагрузкам, влиянию химически агрессивной среды (кислоты в силосе, влага). В таких условиях функционирования предъявляются исключительные требования к износостойкости материалов и конструкционной прочности деталей.

Согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ, по техническому оснащению отрасль животноводства на 95% (2023 г.) зависит от импорта, в том числе рабочих органов. Их приобретение и доставка усложнились с введением санкций, увеличилась стоимость [4].

Отечественная техника по многим показателям, в том числе надежности, уступает машинам ведущих зарубежных фирм. Сельские товаропроизводители несут значительные экономические потери, в структуре себестоимости продукции затраты на ремонт, запчасти и поддержание машинно-тракторного парка в работоспособном состоянии превышают 12%.

Особенно остро стоит вопрос замены импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокими износостойкостью и работоспособностью. Для этого необходимы новые материалы и технологии.

Актуальными задачами в области кормопроизводства являются:

- разработка новых упрочняющих технологий [5-7], обеспечивающих повышение износостойкости и коррозионной стойкости рабочих органов машин и оборудования;
- разработка методов и средств [8, 9], позволяющих оценивать эффективность упрочняющих технологий в заданных условиях эксплуатации рабочих органов;
- своевременный контроль качества запасных рабочих органов;
- разработка рекомендаций по своевременной очистке техники от остатков корма и ее сушке;
- разработка модифицированных износостойчивых и коррозионностойких рабочих органов;
- оптимизация процесса резания ножом [10].

Решение этих задачи позволит повысить долговечность рабочих органов машин и оборудования, надежность в целом техники для приготовления кормов.

Следующий этап развития сельского хозяйства, техники и рабочих органов связан с переходом и реализацией концепции «Умное сельское хозяйство» [11, 12]. В этом направлении уже появляются новые разработки [13-16].

Выводы. На основе исторического анализа установлена последовательность основных технологических периодов развития техники для приготовления кормов: доиндустриальный (до конца XVIII в.); первичная механизация (XIX в. – середина XX в.); комплексная механизация (1950-1980 гг.); автоматизация и роботизация (с 1990-х годов по настоящее время). Каждый период характеризовался новым уровнем интеграции и источником энергии.

Развитие рабочих органов происходило по пути их совершенствования, перехода от простых однофункциональных к комбинированным (шнек-нож).

Разработана классификация рабочих органов смесителей-кормораздатчиков, позволяющая систематизировать основные конструктивные формы ножей (треугольные изогнутые и зубчатые, квадратные, изогнутые, полулунные, угловые, секач, зубчатые).

В условиях импортозависимости актуальная научно-техническая задача состоит в разработке конкурентоспособных отечественных рабочих органов, материалов для них и эффективных упрочняющих технологий кормопроизводства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д.В., Миронов Д.А., Ценч Ю.С. Эволюция проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N3. С. 66-73. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-66-73.
2. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Казакова В.А. Эволюция технического сервиса в агропромышленном комплексе // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. N3. С. 47-52. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-3-47-52.
3. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
4. Ерохин М.Н., Гайдар С.М., Скороходов Д.М. и др. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25. N3. С. 72-78. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-72-78.
5. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И. Функциональные покрытия // *Электрометаллургия*. 2020. N11. С. 25-33. DOI: 10.31044/1684-5781-2020-0-11-25-33.
6. Ипатов А.Г., Ерохин М.Н., Казанцев С.П. и др. Физико-механические свойства керамических покрытий, получаемых короткоимпульсной лазерной наплавкой порошковой смеси на основе бора // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25. N1. С. 71-76. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-71-76.
7. Ишков А.В., Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Евсиков А. А. Исследование химического состава покрытий после ТВЧ-наплавки // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N1. С. 82-86. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-82-86.
8. Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Ишков А.В. и др. Исследование износостойкости ножей в период эксплуатации и оценка эффективных методов их упрочнения // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2024. N1. С. 97-106. DOI: 10.31857/S0235711924010117.
9. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V. et al. Study of wear resistance of harvester knives during operation and evaluation of effective methods for hardening. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2024. Vol. 53. N1. 80-87. DOI: 10.1134/S1052618824010072.
10. Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Ишков А.В. и др. Анализ и оптимизация процесса резания ножа измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна для увеличения его срока службы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2023. N5(223). С. 70-78. DOI: 10.53083/1996-4277-2023-223-5-70-78.
11. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Развитие технологий и средств механизации для защиты растений в Российской Федерации // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 100-108. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-100-108.

12. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // *Продовольственная политика и безопасность*. 2019. Т. 6. N2. С. 97-108. DOI: 10.18334/ppib.6.2.41384.
13. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. Process of digital transformation of agrarian economy. *Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020. 164-169. EDN: SDQPLX.
14. Скороходов Д.М., Казанцев С.П., Серов Н.В., Карпов В.И. Разработка программного модуля для автоматизации процесса упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин сверхвысокочастотным индукционным нагревом // *Международный технический журнал*. 2025. N4(98). С. 78-89. DOI: 10.34286/29449-4176-2025-98-4-78-89.
15. Ерохин М.Н., Скороходов Д.М., Скороходова А.Н. и др. Анализ современных устройств выращивания растений в городском фермерстве и перспективы его развития // *Агроинженерия*. 2021. N3(103). С. 24-31. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31.
16. Воронина Н.П. Правовое регулирование использования биотехнологий в сельском хозяйстве России и зарубежных странах // *Аграрное и земельное право*. 2020. N7(187). С. 17-23. EDN: ААМАТV.

REFERENCES

1. Popov D.V., Mironov D.A., Tsench Yu.S. Evolution of the design of working tools for tillage machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 66-73 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-66-73.
2. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Kazakova V.A. Evolution of technical service in the agricultural complex. *Machinery Technical Service*. 2024. Vol. 62. N3. 47-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-3-47-52.
3. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
4. Erokhin M.N., Gaidar S.M., Skorokhodov D.M. et al. Wear resistance of low-alloy steels in the abrasive environment. *Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 25. N3. 72-78 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-72-78.
5. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I. Functional coatings. *Electrometallurgiya*. 2020. N11. 25-33 (In Russian). DOI: 10.31044/1684-5781-2020-0-11-25-33.
6. Ipatov A.G., Erokhin M.N., Kazantsev S.P. et al. Physico-mechanical properties of ceramic coatings obtained by short-pulse laser surfacing of a boron-based powder mixture. *Agricultural Engineering*. 2023. N25(1). 71-76 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-71-76.
7. Ishkov A.V., Aulov V.F., Rozhkov Yu.N., Evsyukov A.A. Research of the chemical composition of coatings after HF surfacing. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N1. 82-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-82-86.
8. Lyalyakin V.P., Aulov V. F., Ishkov A.V. et al. Study of wear resistance of knives during operation and evaluation of effective methods of their hardening. *Problems of mechanical engineering and reliability of machines*. 2024. N1. 97-106 (In Russian). DOI: 10.31857/S0235711924010117.
9. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V. et al. Study of wear resistance of harvester knives during operation and evaluation of effective methods for hardening. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2024. Vol. 53. N1. 80-87 (In Russian). DOI: 10.1134/S1052618824010072.
10. Aulov V.F., Rozhkov Yu.N., Ishkov A.V. et al. Analysis and optimization of cutting process of straw chopper-spreader knife of grain harvester in order to increase its durability. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2023. N5(223). 70-78 (In Russian). DOI: 10.53083/1996-4277-2023-223-5-70-78.
11. Lysov A.K., Kornilov T.V. Advancements in plant protection technologies and mechanization in the Russian Federation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 100-108 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-100-108.
12. Anischenko A.N. "Smart" agriculture as a promising vector of growth of agrarian sector of economy in Russia. *Food Policy and Security*. 2019. Vol. 6. N2. 97-108 (In Russian). DOI: 10.18334/ppib.6.2.41384.
13. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. Process of digital transformation of agrarian economy. *Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020. 164-169 (In Russian). EDN: SDQPLX.
14. Skorokhodov D.M., Kazantsev S.P., Serov N.V., Karpov V.I. Development of a software module for automation of the process of hardening the working bodies of agricultural machinery by ultra-high-frequency induction heating. *International Technical Journal*. 2025. N4 (98). 78-89 (In Russian). DOI: 10.34286/29449-4176-2025-98-4-78-89.
15. Erokhin M.N., Skorokhodov D.M., Skorokhodova A.N. et al. Analysis of using modern plant cultivation units in city farming and its development prospects. *Agrarian Engineering*. 2021. N3 (103). 24-31 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31.
16. Voronina N.P. Legal regulation of the use of biotechnology in agriculture in Russia and foreign countries. *Agrarian and Land Law*. 2020. N7 (187). 17-23 (In Russian). EDN: ААМАТV.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ерохин М.Н. – общее руководство, постановка цели и формирование методики исследования;

Скороходов Д.М. – подготовка рукописи, анализ и доработка текста, формирование общих выводов;

Павлов А.С. – обобщение и описание результатов, визуализация материалов, анализ литературных данных, формирование результатов исследования.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Erokhin M.N. – overall supervision, formulation the research objective, development of the research methodology;

Skorokhodov D.M. – manuscript preparation, analysis and revision, formulation of the overall conclusions;

Pavlov A.S. – summarization and description of the results, visualization of materials, literature analysis, formulation of the research findings.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.12.2025

27.02.2026