

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 636.084.74

А. В. Китун¹, доктор технических наук, профессор,

П. Ю. Крупенин², кандидат технических наук, доцент

¹Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, ktmg@batu.edu.by

²Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
ул. Мичурина, 5, 213407 Горки, Республика Беларусь, pavel@krupenin.com

**ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА КООРДИНАТНЫХ КОРМОРАЗДАТЧИКОВ
В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОРМЛЕНИЯ
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

В процессе автоматизации процесса кормления животных кормораздатчики занимают особое место. Кормораздатчики могут быть оснащены различными системами управления, что позволяет оптимизировать процесс кормления, в том числе с учетом потребностей животных в разные сезоны, а также диетических требований. Координатные кормораздатчики — передвижные машины, перемещающиеся по механически или программно заданной траектории. Наиболее часто используются в составе автоматизированных систем кормления крупного рогатого скота и позволяют реализовать в зависимости от способа содержания животных как индивидуальное, так и групповое кормление.

В ходе анализа конструктивно-технологических схем автоматизированных систем кормления крупного рогатого скота установлено, что их использование в технологическом процессе позволяет снизить затраты труда, повысить качество выполнения технологических операций и улучшить показатели продуктивности животных, однако их внедрение на животноводческих предприятиях требует высоких начальных капиталовложений, модернизации животноводческих помещений и обучения обслуживающего персонала.

В статье предложена методика выбора количества координатных кормораздатчиков, основывающаяся на масштабах фермы, способе содержания животных и экономической целесообразности.

Ключевые слова: координатный кормораздатчик; автоматизированная система кормления; кормовая смесь; автоматизация; робот-кормораздатчик; крупный рогатый скот.

Рис. 5. Библиогр.: 9 назв.

A. V. Kitun¹, DSc in Technical Sciences, Professor,

P. Y. Krupenin², PhD in Technical Sciences, Associate Professor

¹Institution of Education “Belarusian State Agrarian Technical University”,
99 Nezalezhnosti Ave., 220023 Minsk, the Republic of Belarus, ktmg@batu.edu.by

²Institution of Education “Belarusian State Agricultural Academy”,
5 Michurina Str., 213407 Horki, the Republic of Belarus, pavel@krupenin.com

**JUSTIFICATION OF THE COORDINATE FEED DISPENSERS NUMBER
IN AUTOMATED CATTLE FEEDING SYSTEMS**

Feed dispensers occupy a special place in the automation of animal feeding. Feed dispensers can be equipped with various control systems, what allows optimizing the feeding process, taking into account animal needs during different seasons and dietary requirements. Coordinate feed dispensers — mobile machines that move along a mechanically or programmatically predetermined trajectory — are most often used in automated cattle feeding systems and allow both individual and group feeding, depending on the animal housing method.

Analysis of the design and process flow diagrams of automated cattle feeding systems revealed that their use in the process reduces labor costs, improves the quality of process operations, and enhances animal productivity. However, their implementation on livestock farms requires significant initial capital investment, modernization of livestock facilities, and service personnel training.

This article proposes a method for selecting the coordinate feed dispensers number based on the farm's size, animal housing method, and economic feasibility.

Key words: coordinate feed dispenser; automated feeding system; feed mixture; automation; robotic feed dispenser; cattle.

Fig. 5. Ref.: 9 titles.

Введение. Одним из ключевых факторов продуктивности крупного рогатого скота является сбалансированное питание. Правильная организация раздачи кормов животным имеет важное значение. По трудоемкости она составляет 30...40 % от общих трудовых затрат по уходу за животными [1].

В процессе автоматизации процесса кормления животных кормораздатчики занимают особое место. Кормораздатчики могут быть оснащены различными системами управления, что позволяет оптимизировать процесс кормления, в том числе с учетом потребностей животных в разные сезоны, а также диетических требований. По степени подвижности кормораздатчики, эксплуатируемые в составе автоматизированных систем приготовления и раздачи кормов, могут быть стационарными или координатными — передвижными машинами, перемещающимися по механически или программно заданной траектории. В качестве механических средств, задающих траекторию движения координатных кормораздатчиков, применяют закладные элементы, направляющие салазки, рельсовые и монорельсовые пути, программных — RFID-транспондеры, системы позиционирования и машинного зрения [2; 3].

Современные автоматизированные системы кормления позволяют точно дозировать корм в соответствии с физиологическими потребностями животных, исключая перекармливание или дефицит питательных веществ. Система может регулировать количество и состав кормов для каждой группы животных или даже для отдельных особей, что особенно актуально в молочном скотоводстве [4].

Методология и методы исследования. Конструктивно-технологическую схему автоматизированной линии раздачи кормов крупному рогатому скоту выбирают в соответствии со схемой подготовки кормов и способом их скармливания: раздельным, в виде полнорационной кормовой смеси или комбинированным [5].

Раздельный способ скармливания заключается в раздельной, последовательной выдаче животным кормов. Данный производственный процесс весьма энерго- и металлоемок, так как для выдачи кормов необходимо различное оборудование — от механизированных транспортных средств до ручных тележек. Существенным недостатком данного способа является и увеличение периода процесса кормления, что ухудшает аппетит животных.

Способ скармливания кормов в виде полнорационной кормовой смеси заключается в одновременной раздаче всех видов кормов в смешанном виде. Он позволяет повысить продуктивность животных за счет взаимодополняющего действия компонентов смеси и увеличения поедаемости кормов на 5...9 % у молочных коров и на 10...15 % у молодняка на откорме, а также на 10...15 % снизить потери кормов. Скармливание кормов в виде полнорационной кормосмеси значительно упрощает организацию процесса кормления. В этом случае разные по физико-механическим свойствам корма превращаются в однородную смесь, что позволяет механизировать ее раздачу одним типом кормораздатчиков [6].

Комбинированный способ предполагает скармливание объемистых кормов (силос, сенаж, сено и т. д.) с базовой дозой концентратов в виде кормовой смеси, в дополнение к которой животные отдельно получают порции концентратов, объем которых рассчитывается на основании их индивидуальных особенностей (молочная продуктивность, масса животного, физиологическое состояние и др.). Для беспривязного содержания молочного стада крупного рогатого скота существуют два способа индивидуального кормления концентрированными кормами: кормление в доильном зале и кормление в стойловом помещении. Выдача кормов в доильном зале осуществляется с помощью стационарного кормораздатчика с ручной или

автоматической идентификацией животных, в стойловом помещении — с помощью кормовых станций, обеспечивающих идентификацию животных, дозирование и индивидуальную выдачу порции комбикорма.

К кормораздающим устройствам автоматизированных линий предъявляются следующие зоотехнические требования: 1) отклонение дозы по массе в расчете на одну голову крупного рогатого скота должно составлять для стебельчатых кормов — не более 10 %, для комбикормов и добавок — не более 5 %; 2) кормораздатчики должны быть универсальными в отношении возможности выдачи всех видов кормов, иметь высокую производительность и возможность регулирования нормы выдачи от минимальной до максимальной; 3) кормораздатчики не должны создавать излишнего шума и запыленности в помещении; 4) бункера кормораздатчиков должны максимально полно очищаться от остатков корма; 5) автоматизированные линии раздачи кормов должны быть надежными в работе [7].

Результаты исследования и их обсуждение. Современные роботизированные системы раздачи кормов крупному рогатому скоту оснащаются сенсорами и программным управлением, позволяющими анализировать потребление корма, отслеживать изменения в аппетите животных и при необходимости вносить корректировки в нормы выдачи кормов.

Для кормления животных при привязном содержании животных фирмой Pellon Group OY (Финляндия) разработан координатный робот-кормораздатчик Pellon Combi (рисунок 1), конструктивное исполнение которого и возможности системы управления позволяют осуществлять индивидуальное кормление животных в соответствии с запрограммированным рационом [2; 3].

Отличительная особенность робота Pellon Combi — реализованный в его конструкции способ приготовления кормосмеси: смешивание производится с помощью поперечного раздаточного ленточного транспортера, оснащенного системой электронного взвешивания. На транспортер дозаторами (работают в согласованном с системой взвешивания режиме) из соответствующих бункеров подается необходимая порция объемистых и концентрированных кормов. Смешивание ингредиентов кормовой смеси начинается еще в процессе их подачи на поверхность транспортера. Готовая порция кормосмеси транспортером выгружается конкретному животному в кормушку или на кормовой стол (раздача может осуществляться на обе стороны).



Рисунок 1. — Робот-кормораздатчик Pellon Combi

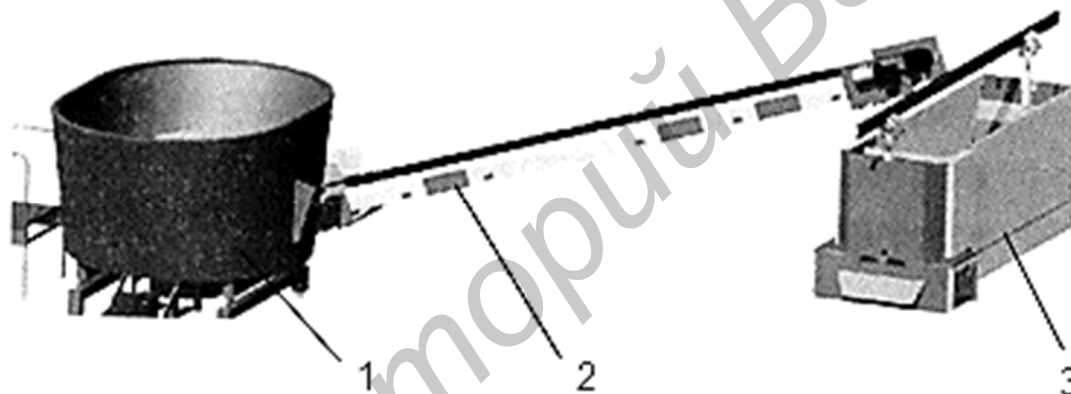
При беспривязном содержании животных Pellon Group OY предлагает использовать варианты исполнения автоматизированной системы кормления животных, в которых основным элементом является робот-кормораздатчик Pellon TMR 3 (рисунок 2).

Фирма Mullerup (Дания) предлагает потребителям варианты автоматизированных систем кормления животных с координатными кормораздатчиками. Конструкция роботов-кормораздатчиков Mix Feeder позволяет выполнять приготовление кормосмеси и ее раздачу в животноводческих помещениях с различными системами содержания животных в автоматическом режиме под управлением компьютера МПТ или вручную [2; 3].

Для кормления молочного стада с большим поголовьем (до 1 000 коров) при беспривязном содержании фирма GEA Farm Technologies (Германия) разработала систему MIX & CARRY, состоящую из координатного робота-кормораздатчика и стационарного смесителя MVM для приготовления кормосмесей (рисунок 3).

Координатные роботы-кормораздатчики MIX & CARRY, выпускающиеся с объемом бункера 2 или 3 м³, могут обслуживать до 20 групп животных, выдавая им до 30 рационов кормосмесей, перемещаясь при этом по монорельсу со скоростью 8...16 м / мин.

Фирмой DeLaval (Швеция) разработана система Optimat II Master (рисунок 4), используемая для кормления различных групп коров с определенным рационом для каждой из них. Компоненты автоматически дозируются, смешиваются, после чего кормовая смесь многократно раздается животным в течение суток.



1 — смеситель CutMix; 2 — ленточный конвейер; 3 — робот-кормораздатчик Pellon TMR

Рисунок 2. — Автоматизированная система кормления животных фирмы Pellon Group OY

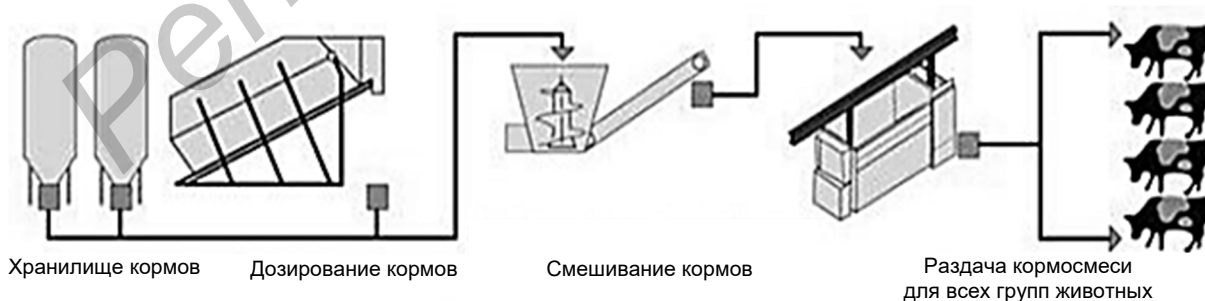


Рисунок 3. — Элементы автоматизированной системы кормления MIX & CARRY

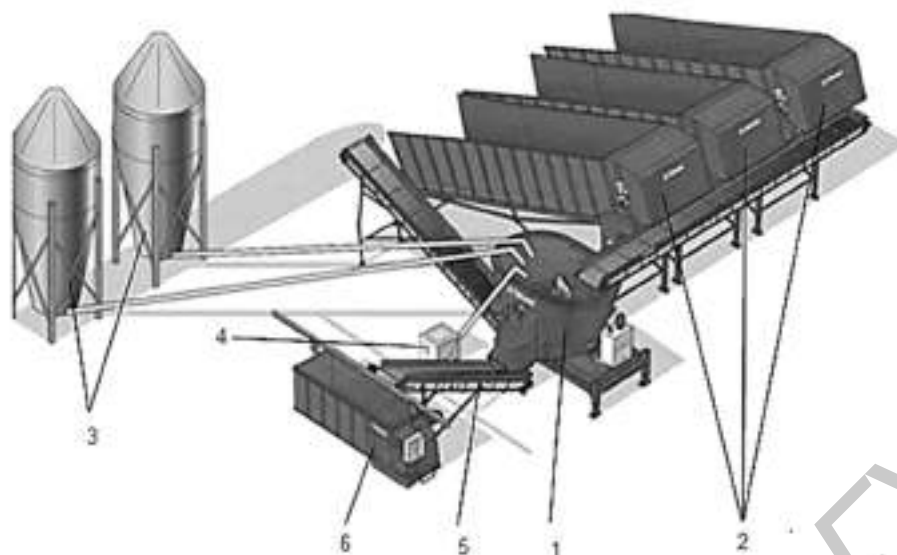


Рисунок 4. — Автоматизированная система приготовления и раздачи кормов Optimat II Master

В установленное время стационарный смеситель 1 загружается компонентами корма из бункеров стебельчатых кормов 2, концентратов 3 и минеральных добавок 4. После приготовления корма в смесителе 1 готовая кормовая смесь загружается наклонным транспортером 5 в кормораздатчик 6, который транспортирует смесь в животноводческое помещение и распределяет по кормовому столу. Система Optimat II Master может использоваться для кормления различных групп коров с конкретным рационом для каждой из групп. Рационы автоматически смешиваются и раздаются животным в заданное время.

В последнее время получают развитие автоматизированные системы кормления животных, оснащаемые координатными кормораздатчиками на колесном ходу, при создании которых за основу были взяты мобильные смесители-раздатчики кормов.

Фирмой Schuitemaker Machines B. V. (Нидерланды) разработан автоматический погрузчик-смеситель-раздатчик кормов Innovado (рисунок 5).

В конструкции кормораздатчика Innovado выемка силоса из траншейных хранилищ и его загрузка в бункер установки осуществляются резчиком силосных блоков, размещенным на стреле с регулируемой длиной вылета. Смешивание ингредиентов производится в бункере кормораздатчика с помощью вертикального шнека. Раздача корма ведется ленточным поперечным транспортером на левую или правую сторону.



Рисунок 5. — Автоматический погрузчик-смеситель-раздатчик кормов Innovado

Безопасная эксплуатация кормораздатчика Innovado обеспечивается за счет установленного на нем лидара, который сканирует близлежащее пространство на предмет присутствия людей, животных и других объектов. При обнаружении препятствия на маршруте движения робот немедленно останавливается. Программное обеспечение системы управления позволяет осуществлять загрузку кормами из нескольких хранилищ, обслуживая при этом различные группы животных в разных помещениях и приготавливая им кормовые смеси соответствующих рационов.

Автоматические системы кормления позволяют оптимизировать процессы раздачи кормов, повысить продуктивность животных и снизить затраты на ручной труд [8; 9]. Эти технологии обеспечивают:

- точность дозирования — системы обеспечивают равномерное распределение кормов, что снижает отклонения в питании и предотвращает потери;
- снижение затрат на рабочую силу — автоматизация процессов кормления минимизирует потребность в ручном труде, что особенно важно на крупных фермах;
- повышение продуктивности животных — стабильный и сбалансированный рацион способствует увеличению привесов и молочной продуктивности, снижает риски заболеваний;
- экономию кормов — точное распределение кормовой смеси позволяет избежать перерасхода и потерь, что положительно сказывается на себестоимости продукции;
- гибкость и адаптацию — системы могут настраиваться под различные рационы и группы животных, учитывая их потребности в питательных веществах.

При автоматической раздаче кормов молочная продуктивность коров увеличивается на 10...15 % за счет более равномерного и своевременного поступления питательных веществ, что снижает стрессы и повышает усвоение рациона. В мясном животноводстве точное кормление способствует ускоренному набору массы и сокращению периода откорма, снижая расход кормов на единицу продукции.

Несмотря на то, что автоматизированные системы кормления позволяют снизить затраты труда, повысить качество выполнения технологических операций и улучшить показатели продуктивности животных, они не лишены недостатков:

- высокая стоимость внедрения — закупка и установка автоматических систем требуют значительных инвестиций, что может быть неподъемно для небольших хозяйств;
- техническая сложность и зависимость от сервисного обслуживания — при сбоях в системе неизбежны задержки в раздаче кормов, что негативно сказывается на продуктивности животных;
- необходимость в квалифицированном персонале — для обслуживания и настройки систем требуются соответствующие специалисты, что увеличивает затраты на их обучение;
- ограниченная адаптация на фермах с нестандартными объемно-планировочными решениями — внедрение автоматизированных систем может потребовать существенной перепланировки животноводческих помещений;
- риски неправильных настроек — ошибки в программировании могут привести к перерасходу кормов или падению продуктивности.

При автоматизации процесса раздачи кормов животным важным является определение количества координатных раздатчиков кормов. Для решения данной задачи необходимо учесть их грузоподъемность, длительность одного рейса (цикла), объемно-планировочное решение животноводческого помещения и количество раздаваемого корма.

Грузоподъемность координатного кормораздатчика (количество корма, которое можно доставить и раздать за один рейс)

$$m_6 = V_6 k_3 \rho_k ,$$

где V_6 — вместимость бункера-кормораздатчика, m^3 ;

k_3 — коэффициент заполнения бункера, $k_3 = 0,8...1,0$;

ρ_k — плотность корма, $кг / m^3$.

Количество циклов, которые может выполнить один кормораздатчик за время раздачи,

$$i_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{р}}}{t_{\text{ц}}},$$

где $T_{\text{р}}$ — допустимое время кормления (предопределяется распорядком дня на животноводческом предприятии), с;

$t_{\text{ц}}$ — длительность одного цикла раздачи, с.

Длительность одного цикла раздачи определяется как сумма затрат времени на отдельные операции этого цикла:

$$t_{\text{ц}} = (t_{\text{x}} + t_{\text{з}} + t_{\text{с}} + t_{\text{т}} + t_{\text{р}}) k_{\text{у}},$$

где t_{x} — время перемещения пустого кормораздатчика, с;

$t_{\text{з}}$ — время загрузки кормораздатчика, с;

$t_{\text{с}}$ — время на смешивание кормов в бункере кормораздатчика, с;

$t_{\text{т}}$ — время перемещения загруженного кормораздатчика, с;

$t_{\text{р}}$ — продолжительность раздачи кормов, с;

$k_{\text{у}}$ — коэффициент, учитывающий затраты времени на управление кормораздатчиком и согласование работы загрузочных устройств, $k_{\text{у}} = 1,1 \dots 1,2$.

Время перемещения пустого кормораздатчика к месту его загрузки кормами определяется по формуле

$$t_{\text{x}} = \frac{L}{v_{\text{x}}},$$

где L — среднее расстояние от животноводческого помещения до места загрузки кормов, м;

v_{x} — скорость движения пустого раздатчика, м / с.

Время загрузки кормораздатчика определяется по формуле

$$t_{\text{з}} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{Q_i},$$

где m_i — масса порции i -го корма, загружаемой в кормораздатчик, кг;

Q_i — производительность загрузчика i -го корма, кг / с.

Время переезда загруженного кормораздатчика к месту раздачи кормов

$$t_{\text{т}} = \frac{L}{v_{\text{т}}},$$

где $v_{\text{т}}$ — скорость движения загруженного кормораздатчика, м / с.

Время, затрачиваемое на раздачу кормов животным, можно определить по формуле

$$t_{\text{р}} = \frac{\Pi_{\text{ж}} L_{\text{ф.к}}}{v_{\text{р}}},$$

где $\Pi_{\text{ж}}$ — количество животных, обслуживаемых за один цикл, гол.;

$L_{\text{ф.к}}$ — ширина фронта кормления на одно животное, м;

$v_{\text{р}}$ — скорость движения кормораздатчика при раздаче кормов, м / с.

Общее количество циклов (рейсов) координатного раздатчика для обслуживания всего поголовья зависит от количества выдаваемого за одно кормление корма:

$$i_3 = \frac{m_\Sigma}{m_6},$$

где m_Σ — масса корма, используемого для одного кормления всего поголовья, кг.

Потребное для животноводческого предприятия количество координатных кормораздатчиков определяется отношением

$$n_p = \frac{i_3}{i_u}.$$

Полученный результат расчета n_p округляют до целого числа в сторону увеличения и принимают как количество координатных раздатчиков для фермы.

Заключение. Автоматизированные системы кормления позволяют снизить затраты труда, повысить качество выполнения технологических операций и улучшить показатели продуктивности животных, однако их внедрение на животноводческих предприятиях требует высоких начальных капиталовложений, модернизации животноводческих помещений и обучения обслуживающего персонала.

Технические возможности эксплуатируемых в составе автоматизированных линий кормления крупного рогатого скота координатных кормораздатчиков позволяют реализовать в зависимости от способа содержания животных как индивидуальное, так и групповое кормление.

Выбор количества координатных кормораздатчиков должен основываться на масштабах фермы, способе содержания животных и экономической целесообразности, чтобы автоматизация процесса кормления приносила максимальную выгоду.

Список цитируемых источников

1. Китун, А. В. Анализ и обоснование технологических параметров стационарных систем кормления крупного рогатого скота / А. В. Китун, П. Ю. Крупенин // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». — 2025. — № 1 (17). — С. 60—68.
2. Роботизированные системы в животноводстве : учеб. пособие / А. А. Науменко [и др.] ; Харьк. нац. техн. ун-т сел. хоз-ва им. Петра Василенка. — Харьков : ХНТУСХ им. Петра Василенка, 2015. — 171 с.
3. Технические системы точного животноводства : учеб. пособие / П. Ю. Крупенин, Ю. А. Крупенин, А. В. Китун. — Горки : БГСХА, 2025. — 128 с.
4. Китун, А. В. Техничко-экономический анализ автоматизированных систем приготовления и раздачи кормов крупному рогатому скоту / А. В. Китун, Ю. А. Крупенин, П. Ю. Крупенин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2025. — № 1. — С. 120—125.
5. Мишуров, Н. П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока / Н. П. Мишуров. — М. : Росинформагротех, 2010. — 152 с.
6. Хазанов, Е. Е. Технология и механизация молочного животноводства : учеб. пособие / Е. Е. Хазанов, В. В. Гордеев, В. Е. Хазанов. — СПб. : Лань, 2016. — 352 с.
7. Проектирование инновационных механизированных процессов в животноводстве : учеб. пособие / А. В. Китун, В. И. Передня, Н. Н. Романюк, П. Ю. Крупенин. — Минск : БГАТУ, 2025. — 204 с.
8. Tangorra, F. M. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: Results from a field test / F. M. Tangorra // Journal of Agricultural Engineering. — 2018. — Vol. 49. — P. 228—232.
9. Купреенко, А. И. Автоматическая система кормления КРС на базе подвешенного роботизированного кормораздатчика / А. И. Купреенко, Х. М. Исаев, С. М. Михайличенко // Техника и технологии в животноводстве. — 2021. — № 3 (43). — С. 5—9.

Поступила в редакцию 22.10.2025.