

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 636.084.74

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-23-29

**Автоматические системы кормления КРС:
опыт эксплуатации и перспективы использования***Станислав Михайлович Михайличенко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник*S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Аннотация. Автоматические системы кормления не распространены в России. С целью поиска оптимального решения для реализации проекта по разработке роботизированного кормораздатчика на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ проведен обзор научных трудов зарубежных ученых, посвященных изучению производственного опыта эксплуатации автоматических систем кормления и оценке их эффективности. Автоматические системы кормления (АСК) по сравнению с традиционной системой кормления на базе мобильных смесителей-раздатчиков кормов имеют ряд преимуществ. АСК позволяют в 2 раза снизить затраты труда на процесс приготовления и раздачу кормосмесей на фермах КРС; повысить точность кормления за счет разделения животных на большее количество технологических групп, получающих разные рационы кормления в зависимости от продуктивности, стадии лактации и т.д.; обеспечить кратность кормления КРС до 6...8 раз в сутки (что благоприятно влияет на его здоровье и молочную продуктивность). Автоматические системы кормления улучшают условия содержания животных и гигиену. Ширина кормового прохода на фермах с АСК почти в 2 раза меньше, чем на фермах с мобильными смесителями-раздатчиками кормов, что позволяет эффективнее использовать площадь коровника. Основным недостатком АСК является их высокая стоимость: в среднем 1230 €/гол. при средней стоимости реализации системы на базе мобильных смесителей-раздатчиков кормов 400 €/гол. В существующих АСК на долю бункеров-накопителей приходится большая часть инвестиционных затрат. Для снижения стоимости предложена концепция автоматической системы кормления на базе роботизированного кормораздатчика, в которой бункер-накопитель используется для промежуточного хранения уже готовых кормосмесей, а его загрузка осуществляется с помощью мобильного смесителя-раздатчика кормов.

Ключевые слова: КРС, кратность кормления, автоматические системы кормления, АСК, затраты труда, энергопотребление

Формат цитирования: Михайличенко С.М. Автоматические системы кормления КРС: опыт эксплуатации и перспективы использования // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 23-29. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-23-29>.

© Михайличенко С.М., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Automatic systems for feeding cattle: operating experience and perspective for use*Stanislav M. Mikhailichenko, CSc (Eng), Senior Research Engineer*S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Automatic feeding systems are not common in Russia. To find the optimal solution for the development of an automatic feed wagon on the basis of FSAC VIM, the authors made a review of the scientific works of foreign scientists describing the industrial experience of operating automatic feeding systems and evaluating their effectiveness. Automatic feeding systems (AFS) have a number of advantages as compared with the traditional feeding system based on mobile TMR feeder-mixers. AFS can double reduce labor costs of the preparation and distribution of feed mixtures on cattle farms; increase the accuracy of feeding by dividing animals into a larger number of technological groups receiving different feeding rations depending on productivity, lactation stage, etc.; ensure the frequency of feeding cattle up to six to eight times a day (which favorably affects their health and milk productivity). Automatic feeding systems improve animal welfare and hygiene. The feed alley on farms equipped with AFS is almost two times narrower than on farms using mobile TMR mixers, which makes it possible to use

the cowshed area more efficiently. The main disadvantage of AFS is their high cost – on average 1,230 €/head, with an average cost of using a system based on mobile TMR mixers of 400 €/head. In the existing AFS, storage containers account for most of the investment costs. To reduce the cost, the authors put forward the concept of an automatic feeding system based on an automatic feed wagon with a storage container for intermediate storage of ready-made feed mixtures. It can be loaded with a mobile TMR mixer.

Keywords: cattle, feeding frequency, automatic feeding systems, AFS, labor costs, energy costs

For citation: Mikhailichenko S.M. Automatic systems for feeding cattle: operating experience and perspective for use. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(3):23-29. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-23-29>.

Введение. Развитие сельского хозяйства идет по пути автоматизации технологических процессов, что обусловливается требованиями повышения эффективности производства и проблемами нехватки трудовых ресурсов. С начала 90-х гг. на молочных фермах и комплексах активно применяются автоматические системы доения (АСД) или доильные роботы [1]. В последнее время внедрена концепция точного молочного скотоводства, основанная на взаимодействии животных и технологического оборудования посредством специальных датчиков (транспондеров) и программ управления стада [2].

С начала 2000-х гг. разработаны автоматические системы кормления (АСК) различных типов [3], а спустя 5-6 лет они внедрялись на фермы для выдачи полностью (*Total Mixed Ration – TMR*) или частично смешанных рационов (*Partial Mixed Ration – PMR*) [4, 5]. В 2015 г. по всему миру действовало свыше 1250 автоматических систем кормления [6]. Однако в России АСК, в отличие от доильных роботов, не получили широкого распространения. Известны единичные случаи внедрения данных систем в нашей стране: роботы DeLaval RA 135 (КФХ «Лопотов А.Н., Псковская обл.») [7]; система *Jeantil Automatic Feeding* (ЗАО Племенной завод «Ручьи», Ленинградская обл.¹); система *Lely Vector* (ООО «Родниковое Поле», Тульская обл.) [8].

В соответствии с приоритетом научно-технологического развития Российской Федерации, отраженно в Указе Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642, деятельность научных организаций и субъектов экономики РФ должна обеспечивать переход к передовым цифровым и интеллектуальным производственным технологиям, использованию роботизированных систем в производственных циклах с применением систем обработки больших данных и максимальным уровнем импортозамещения [9, 10]. Очевидно, что при разработке отечественных роботизированных систем для кормления КРС необходимо учитывать

накопленный мировой опыт их эксплуатации, а также результаты исследований, посвященных оценке их эффективности.

Цель исследований: обзор научных трудов зарубежных ученых, посвященных изучению производственного опыта эксплуатации автоматических систем кормления и оценке их эффективности.

Материалы и методы. Основываясь на исследованиях иностранных авторов проведено сравнение традиционной системы кормления на базе мобильных смесителей-раздатчиков кормов (СРК) и автоматических систем кормления (АСК) с точки зрения эффективного использования площадей животноводческих помещений, эффективности кормления, ежедневных затрат труда, уровня капиталовложений в технику для кормления, средней молочной продуктивности и уровня энергопотребления.

Результаты и их обсуждение. Процесс кормления на молочных фермах КРС является наиболее трудоемким после процесса доения, и на его долю приходится примерно 25% от общих трудозатрат по обслуживанию животных [10]. Согласно информации, предоставленной производителями, автоматические системы кормления позволяют существенно снизить рабочую нагрузку, улучшить гигиену и снизить потери кормов.

Для оценки эффективности АСК сравнивались 14 молочных ферм Дании, Германии, Голландии и Швейцарии, на которых численность стада варьировалась в пределах 28...390 коров, средний удой составлял 8...9 тыс. кг/год, кратность кормления – 2...13 раз/сут. (на большинстве ферм – 8 раз/сут.).

На 6 фермах первая раздача кормосмеси осуществлялась в 03:00-05:00, а на 8 фермах – в 06:00-07:00. Последнее кормление приходилось на 17:00-02:00. На 8 фермах последний рацион выдавался в 21:00-22:00. Только на одной ферме кормление осуществлялось на протяжении всей ночи.

В ходе исследований выяснилось, что для фермеров главным поводом для установки АСК являлось снижение трудоемкости (экономия рабочего времени). В старых строениях пространство, высвобожденное в ходе реконструкции, часто служило для увеличения

¹ Дария Харитоновна. Автономное кормление // Агровестник. 2016. URL: <https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/avtonomnoe-kormlenie.html> (дата обращения: 28.11.2022).

полезно используемой площади, что позволяло размещать в коровниках больше животных [7]. Также среди преимуществ отмечалось снижение затрат на строительство новых коровников в связи с уменьшением требуемой ширины кормового прохода до 2 м. Кроме того, за счет внедрения АСК у персонала появляется выбор при планировании работ. Также повысилась точность кормления стада за счет подразделения его на дополнительные технологические группы в зависимости от продуктивности, стадии лактации и других показателей. Многие управляющие фермами отметили снижение уровня стресса в стаде. По их мнению, животные более низкого ранга стали больше потреблять и дольше пережевывать корма благодаря тому, что раздача осуществлялась несколько раз (как правило, 8 раз/сут.). На некоторых фермах с АСК было зафиксировано увеличение количества доений – предположительно ввиду возросшей двигательной активности стада и более частого посещения животными кормового стола в связи с повышением кратности кормления.

Сравнительный анализ эффективности двух технологий (традиционной системы кормления на базе мобильных смесителей-раздатчиков кормов (СРК) и АСК) проводился с помощью моделирования. За основу выбирались два типоразмера ферм, рассчитанные на содержание 60 и 120 коров. Согласно полученным результатам при использовании АСК затраты труда составили соответственно 50,6 и 65 чел.·мин/сут., а при использовании мобильных СРК – 71,3 и 202,8 чел.·мин/сут. Таким образом, при обслуживании фермы, рассчитанной на содержание 120 коров, использование автоматической системы обеспечивает снижение трудозатрат на 112,5 мин в сутки. Другие ученые в своем исследовании пришли к аналогичному результату: для молочного стада в 150 гол. экономия рабочего времени при использовании АСК составила 100 мин в сутки [11].

Для сравнительной оценки двух систем кормления в Голландии проводилось исследование на 22 молочных фермах (на 12 фермах использовались АСК, на 10 – мобильные СРК) [12]. Сравнительный анализ показал, что средняя численность дойного стада составляла 88,9 гол. на фермах с АСК и 88,2 – на фермах с мобильными СРК. При этом количество коров, приходящихся на одного доильного робота, в среднем составляло соответственно 41,6 и 42,4 гол. На 85% ферм содержались животные голштино-фризской породы со средней молочной продуктивностью 8900 и 8705 кг/год соответственно для ферм с АСК и с мобильными СРК. Максимальная средняя молочная продуктивность (10000 кг/год) наблюдалась на 17% ферм с АСК и 10% ферм с мобильными СРК.

На фермах с мобильными СРК раздача кормосмесей осуществлялась 1...4 раза/сут. (в среднем 1,4) с выполнением операции подравнивания кормов в пределах 1...5 раз/сут. (в среднем 3,5), тогда как на фермах с АСК кормосмеси выдавались 5...11 раз в сутки (в среднем 7,8). Фермеры, использующие АСК, утверждали, что ввиду высокой кратности кормления (раздача осуществлялась в среднем каждые 3,1 ч) снизились остатки несъеденных кормов.

В планировке коровников зафиксировано существенное отличие: ширина кормового прохода на фермах с АСК приблизительно в 2 раза меньше, чем на фермах с мобильными СРК, и в среднем составляла 2715 ± 650 мм против 5353 ± 420 мм. Однако для ферм с АСК требовались дополнительные крытые помещения площадью 45...110 м² для размещения стационарного смесителя и/или бункеров-накопителей для компонентов рационов.

Согласно проведенному опросу наиболее распространенным поводом к установке АСК была необходимость в повышении эффективности труда (24% голосов). Варианты более эффективного использования площадей животноводческих помещений и лучшего взаимодействия между АСК и АСК набрали по 19% среди ответов фермеров. 15% фермеров отметили улучшение эффективности кормления: появилась возможность разделить стадо на большее количество технологических групп животных, получающих разные рационы кормления в зависимости от показателей продуктивности, стадии лактации и т.д.

На фермах с АСК ежедневные затраты труда на процесс кормления (составление рационов, приготовление и раздача кормосмесей, подравнивание кормов) почти в 2 раза меньше затрат на фермах, применяющих мобильные СРК. Однако уровень капиталовложений в технику для кормления на фермах с мобильными СРК в зависимости от их объема и типа (прицепной или самоходный) составлял 160...600 €/гол. (в среднем 400 €/гол.), тогда как на фермах с АСК в зависимости от технической сложности системы и объема сопутствующих строительных работ – 850...1650 €/гол. (в среднем 1230 €/гол.). Таким образом, высокая стоимость АСК является ключевым фактором, препятствующим их активному внедрению на животноводческих комплексах.

Важным преимуществом АСК является возможность выдачи рационов до 15 раз в сутки, что способствует повышению активности животных при кормлении и увеличению уровня потребления сухого вещества, а также позволяет создать для животных более естественные условия содержания [13].

Многочисленные исследования зарубежных ученых посвящены изучению влияния кратности

кормления на поведение животных, показатели их продуктивности и здоровья [14-20]. На практике чаще всего применяется 6- и 8-кратное кормление [21]. Исследования показывают, что раздача кормосмесей один или два раза в сутки приводит к схеме кормления, при которой пик посещения зоны кормления животными приходится на время, следующее сразу за раздачей (рис. 1).

Увеличение кратности кормления, напротив, способствует активному посещению зоны кормового стола животными, что приводит к более равномерной схеме кормления [22, 23], а также к более длительным по времени кормлениям. В результате повышается стабильность уровня рН рубца с достижением соответствующего положительного эффекта для здоровья животных и их продуктивности [24-26]. Кроме того, при повышении кратности кормления сокращается время нахождения кормов на кормовом столе, что в свою очередь ведет к снижению рисков их загрязнения и брожения [27].

Экспериментальное сравнение системы кормления с использованием мобильных СРК и АСК с точки зрения энерго- и трудозатрат проводилось итальянскими учеными на ферме с дойным стадом

в 90 коров (преимущественно голштино-фризской породы). Объем ежедневно выдаваемого рациона в обоих случаях составлял 10 м³.

Средняя молочная продуктивность коров на ферме составляла 8435 кг/гол. в год. Процесс доения осуществлялся доильными роботами фирмы SAC (Дания).

При использовании мобильного СРК объемом 10 м³ с одним вертикальным шнеком кормление осуществлялось один раз в сутки в 07:00. Для его работы использовался трактор мощностью 80 кВт (Same Deutz-Fahr Explorer, Италия), а также телескопический погрузчик мощностью 73 кВт (Manitou MVT, Франция).

При установке на ферме автоматической системы кормления DeLaval Optimat Master (Швеция) загрузка бункеров-накопителей осуществлялась раз в три дня. Для 4-кратного кормления использовался подвесной роботизированный кормораздатчик объемом 3 м³ (рис. 2).

Потребление дизельного топлива определялось путем полного заполнения бака после каждой операции. С учетом его стоимости соответствующие затраты составили 0,765 €/кг. При сравнении двух систем по критерию энергопотребления для дизтоплива

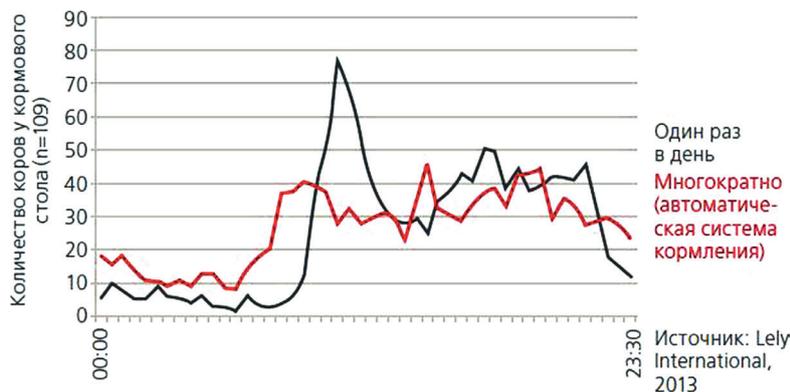


Рис. 1. Характер распределения животных вдоль кормового стола в зависимости от кратности кормления²
 Fig. 1. Pattern of placing the animals along the feeding alley, depending on the feeding frequency²



Рис. 2. Состав автоматической системы кормления DeLaval Optimat Master: кормовая кухня (слева) и подвесной робот-кормораздатчик (справа) [28]
 Fig. 2. Design of the DeLaval Optimat Master automatic feeding system: feeding center (left) and rail-guided feed wagon (right) [28]

² Lely: Веб-сайт. URL: <https://www.lely.com/ru/solutions/feeding/vector/> (дата обращения: 29.11.2022).

была принята удельная теплота сгорания 47,3 МДж/кг. Энергопотребление электродвигателей определялось путем умножения номинальной мощности на время их работы. С учетом тарифа на электроэнергию соответствующие затраты составили 0,18 €/кВт·ч.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат при использовании АСК до 1,02 ч/сут. по сравнению с 2,5 ч/сут., необходимых для работы мобильного СРК. Уровень энергопотребления АСК также оказался ниже: 68,05 кВт/сут. по сравнению с 246,64 кВт/сут. при использовании мобильного СРК. В целом энергозатраты, приходящиеся на процесс приготовления и раздачи кормосмесей, при использовании АСК составили 9,11 €/сут., при использовании мобильного СРК – 14,36 €/сут. [28].

Определение уровня энергопотребления автоматической системой кормления Lely Vector и сравнение затрат на процесс приготовления и раздачу кормосмесей данной системой по сравнению с использованием мобильного СРК проводились на молочной ферме в Северной Италии с поголовьем 500 коров голштинно-фризской породы [29]. Все животные доились при помощи роботов-дойеров от компании Lely (Нидерланды). При этом состав стада не изменился и объем кормосмеси остался на прежнем уровне.

Изначально на ферме использовался мобильный СРК Italmix (Италия) объемом 30 м³, оснащенный двумя вертикальными шнеками. Для кормления стада ежедневно за 7 ч готовилось и раздавалось 19000 кг кормосмеси, при этом затрачивалось 143 л, или 117 кг, дизельного топлива в сутки при его плотности 0,820 кг/л. Загрузка компонентов осуществлялась в среднем за 1,5 ч/сут. при помощи телескопического погрузчика. Энергопотребление при использовании мобильного СРК составляло 1387,62 кВт/сут., а затраты – 93,8 €/сут.

После внедрения системы Vector энергопотребление в среднем составляло 40,2 кВт/сут. с соответствующими затратами 9,25 €/сут. (без учета операции транспортирования компонентов рационов в кормовую кухню телескопическим погрузчиком).

Затраты труда при использовании мобильного СРК составляли около 7 ч/сут., что значительно больше 1,5 ч/сут., необходимых для заполнения кормовой кухни системы Vector.

Ежедневные расходы, приходящиеся на процесс приготовления и раздачи кормосмесей, определенные по стандарту ASABE Standard EP496.3, для мобильного СРК составляли 300,9 €/сут., для системы Vector – 202,79 €/сут. (–33%). Данный факт объясняется существенным энергосбережением (–97%) и снижением трудозатрат (–79%).

Энергопотребление автоматических систем кормления может варьироваться в широких пределах

в зависимости от их состава, степени автоматизации, используемой технологии и других факторов [30]. В ходе проведенных опытов на четырех фермах с АСК (на трех фермах использовались подвесные роботизированные кормораздатчики, на четвертой – ленточный) зафиксировано энергопотребление в пределах 8,8...52,6 кВт/сут. (или удельной величины 21,36...83,52 кВт/гол. в год). При этом сделан вывод о том, что при использовании АСК экономия затрат на электроэнергию может составлять до 40 €/гол. в год по сравнению с экономией при применении мобильных СРК.

Обобщая результаты исследований зарубежных ученых, можно сделать вывод о том, что автоматические системы кормления являются перспективным техническим решением для повышения качества процесса приготовления и раздачи кормосмесей на фермах КРС, эффективности производства молока и говядины в целом. В то же время необходимо отметить, что существующие АСК адаптированы для эксплуатации на европейских фермах с невысоким количеством обслуживаемых животных, когда численность стада часто составляет порядка 100 гол. При этом экономический эффект во многом достигается за счет сокращения затрат на оплату труда, которые в европейских странах являются относительно высокими, что оправдывает высокий уровень автоматизации. Например, в Италии на 2018 г. оплата труда механизатора составляла 15 €/ч, или 105 € (7800 руб. в ценах на 2023 г.) за 7-часовую смену [29].

В России ввиду относительно невысокого уровня оплаты труда приобретение данных систем экономически нецелесообразно, поскольку сокращение расходов на выплату заработной платы не покрывает затраты на приобретение и техническое обслуживание АСК.

В связи с вышесказанным первостепенной задачей является снижение стоимости автоматической системы кормления с сохранением функциональных возможностей, присущих более дорогостоящим системам. С этой целью предложена концепция автоматической системы кормления на базе роботизированного кормораздатчика, в которой бункер-накопитель используется для промежуточного хранения уже готовых кормосмесей, а его загрузка осуществляется с помощью мобильного смесителя-раздатчика кормов [31]. Поскольку в существующих АСК на долю бункеров-накопителей приходится большая часть инвестиционных затрат [32], данное решение позволит существенно снизить стоимость системы в целом.

Дальнейшим направлением исследования послужит сравнительный анализ предлагаемой системы и существующих АСК с точки зрения технико-экономической эффективности на примере крупного хозяйства.

Выводы

1. Автоматические системы кормления способствуют снижению трудоемкости кормления КРС и стоимости строительства новых животноводческих помещений, повышению гибкости выполняемых работ и точности кормления стада, снижению уровня стресса среди животных, улучшению гигиены и условий содержания животных, снижению уровня энергозатрат.

2. Автоматические системы кормления способны увеличить кратность кормления до 6...8 раз/сут., что

благоприятно повлияет на физиологические и поведенческие показатели животных.

3. Недостатком автоматических систем кормления является высокая стоимость, что обуславливает меньший экономический эффект от внедрения существующих типов АСК.

4. Для снижения стоимости автоматических систем кормления и возможности их эффективной эксплуатации на отечественных фермах и комплексах по обслуживанию крупного рогатого скота предложено использовать бункер-накопитель для промежуточного хранения готовых кормосмесей.

Список использованных источников / References

- De Coning C.J.A.M. Automatic milking – common practice on dairy farms. Proc. of the First North American Conf. on Precision Dairy management, Toronto, Canada. 2010.
- Bewley J. Precision dairy farming: advanced analysis solutions for future profitability. First North American conf. on precision dairy management, Toronto, Canada. 2010.
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Автоматические системы кормления на молочных фермах КРС // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3 (67). С. 32-37. EDN: UQJYLY
- Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhailichenko S.M. Automatic feeding systems in dairy farms. *Vestnik Bryanskoy GSKHA = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2018;3(67):32-37. (In Rus.)
- Belle Z., André G., Pompe J.C.A.M. Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system. *Biosystems Engineering*. 2012;1(111):33-39. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.005>
- Alex Bach, Victor Cabrera. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(9):7720-7728. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11694>
- Oberschätzl-Kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhard H. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. Proc. of CIGR-AgEng Conference, Aarhus, Denmark. 2016. Pp. 1-8.
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Эксплуатация автоматического кормовагона на молочной ферме // Сельский механизатор. 2018. № 6. С. 32-33, 40. EDN: YNJOXZ
- Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhailichenko S.M. Operation of an automatic feeder on a dairy farm. *Selskiy Mekhanizator*. 2018;6:32-33, 40. (In Rus.)
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Автоматизация приготовления и раздачи кормов на примере ООО «Родниковое поле» // Сб. материалов II Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании и аграрном секторе экономики»: Брянск. 2019. С. 49-54. EDN: IGNWYN
- Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhailichenko S.M. Automating the preparation and distribution of forages: the case of LLC “Rodnikovoye Pole”. *Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii i agrarnom sektore ekonomiki”*. Bryansk. 2019:49-54. (In Rus.)
- Дорохов А.С., Никитин Е.А., Павкин Д.Ю. Колесные роботизированные технические средства: опыт и перспективы использования на животноводческих комплексах // Техника и оборудование для села. 2022. № 4(298). С. 16-21. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-4-16-21>
- Dorokhov A.S., Nikitin E.A., Pavkin D.Yu. Wheeled robotic technical tools: experience and prospects of use on livestock farms. *Machinery and equipment for rural area*. 2022;4(298):6-21. (In Rus.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-4-16-21>
- Никитин Е.А., Дорохов А.С., Павкин Д.Ю. Совершенствование технологии приготовления кормовой смеси при реконструкции кормовых площадок // Техника и оборудование для села. 2019. № 11 (269). С. 32-34. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34>
- Nikitin E.A., Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu. Improving the preparation of feed mixture during the reconstruction of feeding sites. *Machinery and equipment for rural area*. 2019;269(11):32-34. (In Rus.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34>
- Bisaglia C., Pirlo G., Capelletti M. A simulated comparison between investment and labour requirements for a conventional mixer feeder wagon and an automated total mixed ration system. *AgEng²008 – International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition*, Hersonissos, Crete. 2008.
- Bisaglia C., Belle Z., Van den Berg G., Pompe J.C.A.M. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in The Netherlands. *Proc. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng*, Valencia, Spain. 2012. Pp. 100-104.
- Bisaglia C., Nydegger F., Grothmann A., Pompe J.C.A.M. Automatic and frequency-programmable systems for feeding TMR: state of the art and available technologies. *XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering CIGR*, Quebec, Canada. 2010.
- Bava L., Tamburini A., Penati C., Riva E., Mattachani G., Provolo G., Sandrucci A. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. *Italian Journal of Animal Science*. 2012;3(11):e42. <https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e42>
- Crossley R.E., Harlander-Matauschek A., DeVries T.J. Mitigation of variability between competitively fed dairy cows through increased feed delivery frequency. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(1):518-529. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12930>
- Hart K.D., McBride B.W., Duffield T.F., DeVries T.J. Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(3):1713-1724. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7504>
- Mattachini G., Pompe J., Finzi A., Tullo E., Riva E., Provolo G. Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*. 2019;9(4):121. <https://doi.org/10.3390/ani9040121>

18. Silva Dias M.S., Ghizzi L.G., Marques J.A., Nunes A.T., Grigoletto N.T.S., Gheller L.S., Silva T.B.P., Silva G.G., Lobato D.N., Costa e Silva L.F., Rennó F.P. Effects of organic acids in total mixed ration and feeding frequency on productive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(5):5405-5416. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19419>
19. Niu M., Ying Y., Bartell P.A., Harvatine K.J. The effects of feeding time on milk production, total-tract digestibility, and daily rhythms of feeding behavior and plasma metabolites and hormones in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(12):7764-7776. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8261>
20. Oberschätzl-Kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhard H. Studies on dairy cow behaviour with automatic feeding in a herd milked by an AMS. *Landtechnik*. 2016;2(71):55-65. <https://doi.org/10.1515/lt.2016.3122>
21. Grothmann A., Moser L., Nydegger F., Steiner A., Zähler M. Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows. In: *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, Zurich*. 2014. Pp. 1-6.
22. Oostra H.H., Stefanowska J., Sällvik K. The effects of feeding frequency on waiting time, milking frequency, cubicle and feeding fence utilization for cows in an automatic milking systems. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*. 2005;55(4):158-165. <https://doi.org/10.1080/09064700500488985>
23. Riva E., Mattachini G., Bava L., Sandrucci A., Tamburini A., Provolo G. Influence of feed delivery frequency on behavioural activity of dairy cows in freestall barns. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013; XLIV(2s): e39. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.281>
24. DeVries T., von Keyserlingk M., Beauchemin K. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2005;88(10):3553-3562. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X)
25. Mäntysaari P., Khalili H., Sariola J. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding

dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(11):4312-4320. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72478-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72478-X)

26. Mattachini G., Riva E., Pompe J.C.A.M, Provolo G. Automatic monitoring of cow behaviour to assess the effects of variations in feeding delivery frequency. In: *7th European Conference on Precision livestock farming – Precision Livestock Farming '15*, Milan, Italy, 2015:473-481. <https://edepot.wur.nl/368325>
27. Wagner-Storch A.M., Palmer R.W. Feeding behavior, milking behavior and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(4):1494-1502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73735-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73735-7)
28. Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Engineering for Rural Development*. 2016;15:882-887.
29. Tangorra F.M., Calcante A. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: Results from a field test. *Journal of Agricultural Engineering*. 2018;49(4):228-232. <https://doi.org/10.4081/jae.2018.869>
30. Oberschätzl R., Haidn B., Neiber J., Nesper S. Automatic feeding systems for cattle – a study of the energy consumption of the techniques. *Proc. of XXXVI CIOSTA CIGR V Conference*, Saint Petersburg, 2015, pp. 1-9.
31. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Технологическая линия приготовления и раздачи кормосмесей на базе автоматического кормового вагона // *Сельский механизатор*. 2020. № 1. С. 14-15.
- Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhaylichenko S.M. Production line for preparation and distribution of total mixed rations based on the use of an automatic feed wagon. *Selskiy mekhanizator*. 2020;1:14-15. (In Rus.)
32. Grothmann A., Nydegger F., Häußermann A., Hartung E. Automatic feeding system (AFS) – potential for optimisation in dairy farming. *Landtechnik*. 2010;65(2):129-131.

Автор несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 06.12.2022; поступила после рецензирования и доработки 17.01.2023; принята к публикации 23.01.2023

The author bears responsibility for plagiarism.

Received 06.12.2022; revised 17.01.2023; accepted 23.01.2023