

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭНЕРГЕТИКА *MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING*

УДК 637.116-52
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-333-342>

Поступила в редакцию 21.04.2025
Received 21.04.2025

Е. Л. Жилич¹, В. О. Китиков², Ю. Н. Рогальская¹

*¹Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь*

*²Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ДОЕНИЯ КОРОВ

Аннотация. Промышленная технология производства молока – это технология, которая обеспечивает производство высококачественной продукции с минимальной при этом себестоимостью, то есть используя в процессе производства как можно меньше трудозатрат и технических средств. Современное молочное животноводство считается промышленным, если применяется технология производства молока с затратами труда, составляющими не больше 2,5 чел/ч на каждый центнер продукции. Достигается за счет автоматизации (например, роботизированные доильные аппараты, автоматические кормораздатчики) и оптимизации труда, что снижает затраты на единицу продукции. Среди популярных систем автоматического доения – Lely Astronaut, AMR DeLaval, GEA DairyRobot R9500, BouMatic Robotics и Fullwood M²erlin. Эти установки оснащены роботизированными манипуляторами, сенсорами, камерами и алгоритмами контроля качества молока и состояния коров. Промышленная технология доения коров гарантирует соблюдение стандартов безопасности и питательной ценности молока (например, по нормам ГОСТ или международным стандартам, таким как ISO 22000), минимизируя риски загрязнения и отклонений. Широко используется на крупных фермах (например, в США, ЕС или России), где комбинируются генетика скота, автоматизированные системы и точное кормление. Согласно отчетам USDA такие технологии повышают продуктивность коров до 8–10 тыс. л молока в год при снижении затрат. Данная технология сокращает риски для здоровья животных и окружающей среды, обеспечивает стабильный доход. Промышленные методы доения коров на 20–30 % эффективнее традиционных ферм по себестоимости. Эта технология эволюционировала с XX в. благодаря механизации и цифровым инновациям, позволяя масштабировать производство для глобального рынка.

Ключевые слова: промышленная технология, роботизированное доение, система позиционирования, вымя, дойное стадо, 3D-камера, доильная установка, программно-аппаратный комплекс, манипулятор, критерий роста, критерий останковки

Для цитирования: Жилич, Е. Л. Формирование базовых условий для разработки и эффективного использования роботизированных средств в промышленных технологиях доения коров / Е. Л. Жилич, В. О. Китиков, Ю. Н. Рогальская // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 4. – С. 333–342. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-333-342>

Evgeny L. Zhilich¹, Vadim O. Kitikov², Yulia N. Rogalskaya¹

*¹Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization,
Minsk, Republic of Belarus*

*²Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

FORMATION OF BASIC CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT AND EFFECTIVE USE OF ROBOTIZED MEANS IN INDUSTRIAL TECHNOLOGY OF COW MILKING

Abstract. Industrial milk production technology is a technology that ensures the production of high-quality products at a minimum cost, that is, using as little labor and technical means as possible in the production process. Modern dairy farming is considered industrial if milk production technology is used with labor costs of no more than 2.5 people/hour per centner of

product. This is achieved through automation (e.g., robotic milking machines, automatic feed dispensers) and labor optimization, which reduces costs per unit of production. Popular automatic milking systems include Lely Astronaut, AMR DeLaval, GEA DairyRobot R9500, BouMatic Robotics and Fullwood M²erlin. These units are equipped with robotic manipulators, sensors, cameras and algorithms for monitoring milk quality and cow condition. Industrial cow milking technology ensures compliance with milk safety and nutritional value standards (e.g., GOST standards or international standards such as ISO 22000), minimizing the risks of contamination and deviations. Widely used at large farms (e.g., in the US, EU or Russia) where livestock genetics, automated systems and precision feeding are combined. According to USDA reports, such technologies increase cow productivity to 8–10 thousand liters of milk per year while reducing costs. This technology reduces risks to animal health and the environment, and provides a stable income. Industrial methods of cow milking are 20–30 % more efficient than traditional farms in terms of cost price. This technology has evolved since the 20th century due to mechanization and digital innovation, allowing production to be scaled up for the global market.

Keywords: industrial technology, robotic milking, positioning system, udder, milking herd, 3D camera, milking unit, hardware and software system, manipulator, growth criterion, stopping criterion

For citation: Zhilich E. L., Kitikov V. O., Rogalskaya Yu. N. Formation of basic conditions for the development and effective use of robotized means in industrial technology of cow milking. *Vestsi Natsyonal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 4, pp. 333–342 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-333-342>

Введение. Благодаря эффективной экономической политике, принятой руководством страны в отношении модернизации аграрной отрасли, в первой четверти XXI в. производство молока в Республике Беларусь динамично развивается и к настоящему времени достигло впечатляющих результатов: 4-е место в мире по удельному производству молока на душу населения, или более 850 кг/чел/год [1–4]. Это послужило основой для развития молочной перерабатывающей промышленности и выхода на передовые позиции на мировом рынке, где у нас также 4-е место по экспорту молока и молочных продуктов, что в ценовом исчислении превышает 2 млрд долл/год [5].

Вместе с тем, с учетом жесткой конкуренции на мировых рынках, актуальным остается вопрос повышения рентабельности и конкурентоспособности промышленного производства молока. Несмотря на высокие количественные показатели, отечественная молочная отрасль пока еще характеризуется относительно высоким уровнем удельных затрат, то есть производственных затрат на 1 т молока нормативного качества [6].

Наряду с правильным кормлением, условиями содержания животных в коровнике и зооветеринарной профилактикой, процесс машинного доения играет ключевую роль в повышении молочной продуктивности, так как если этот процесс и доильное оборудование неэффективны, то генетический потенциал, кормление и условия преддоильного содержания коров не имеют решающего значения [7, 8].

Анализ мировых технологий промышленного производства молока и лучших отечественных практик позволил определить тенденции и сформулировать главные направления развития производства отечественного доильного оборудования – обеспечение качества процесса доения и физиологичности, то есть учета биологических особенностей процессов молокообразования и молоковыведения у лактирующих коров [9–11].

В настоящее время в стране накоплен значительный опыт применения автоматизированного доильного оборудования, сформированы научные заделы, освоено производство элементной базы и выпуск полнокомплектных доильных залов [12–14].

Следует отметить, что повышение уровня автоматизации доильного оборудования, позволяющее обеспечить полное замещение трудозатрат и учет индивидуальных особенностей каждого животного при выборе режимов доения, связано с применением автоматических линий доения и роботов.

Это позволит не только повысить качество процесса доения, но и увеличить его производительность, что в целом обеспечит снижение затрат, повышение рентабельности и конкурентоспособности молочного сырья.

Цель работы – научный анализ мировых тенденций и лучших отечественных практик для создания отечественного роботизированного оборудования для промышленного производства молока.

Материалы и методы исследований. Управление системой позиционирования осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения с учетом выбранного метода. Алгоритм использует в качестве входных данных трехмерный набор данных с 3D-камеры, а также информацию о положении и ориентации камеры, полученную от роботизированного манипулятора,

на котором установлена камера. Обработка изображения происходит при помощи программного обеспечения системы компьютерного зрения, представленной 3D-камерой O3D314.

Результаты и их обсуждение. Начиная с 1999 года в странах Евросоюза с наиболее развитым молочным животноводством (Нидерланды, Германия, Швеция, Дания, Великобритания) стали широко использоваться специальные доильные роботы [15–17]. Основные особенности доильных роботов как отдельного направления в общей классификации способов содержания и доения коров, отличающие их от существующих систем автоматизированного доения, связаны с возможностью добровольного выбора животным времени доения, а также автоматизированным надеванием доильных стаканов на соски и индивидуальным режимом доения каждой четверти вымени.

По результатам анализа информации открытых источников, в основном производителей оборудования, технико-технологические характеристики роботов представлены в таблице.

Основные технические характеристики роботов
Main technical specifications of robots

Наименование показателя	Бокс-площадка			Дубль-боксы	Полибокс	
	VMS («Де Лаваль», Швеция)	M ² erlin (Fullwood, Англия)	Astronaut (Lely, Нидерланды)	Galaxy (SAC, Дания)	AMS Liberty (Prolion, Нидерланды)	Leonardo («Вестфалия», Германия)
Число обслуживаемых животных	60	60	60–70	80–90	3 бокса – 120 4 бокса – 150	3 бокса – 130 4 бокса – 170
Способ предварительного позиционирования	Передвижной кормушкой	Без ограничения движения животных	Ограничителем в задней части бокса	Передвижной кормушкой		
Позиционирование манипулятора	Лазер, видеокамера	Лазер	Лазер	Лазер, оптическая система, ультразвук	Ультразвук, оптическая система	
Сдаивание первых струек молока	Одновременно с мойкой сосков вымени	Каждый сосок вымени отдельно			Одновременно с мойкой сосков вымени	Каждый сосок отдельно
Надевание доильных стаканов на соски вымени коровы	На каждый сосок отдельно					
Снятие доильных стаканов	Последовательно с каждого соска без руки робота				Все доильные стаканы одновременно без руки робота	Последовательно с каждого соска без руки робота
Основная циркуляционная мойка оборудования	В течение 12–30 мин 3 раза в сутки с моечным или дезраствором				По необходимости (30 мин) не менее 2 раз в сутки	
Контролируемые компьютером параметры	Частота посещений бокса, надой, электропроводимость молока, количество комбикорма, интервалы между доениями, регистрация активности животных					

Выделяются два варианта технологической адаптации роботизированных систем:

1. Однобоксовые (с двумя или несколькими боксами) отдельные доильные роботы (рис. 1), применение которых вполне отвечает принципу «добровольного доения» и не ставит целью создание высокопроизводительных поточных линий доения. Коровы содержатся без привязи и имеют свободный доступ к корму и доению. При этом, как показывает практика, количество добровольных подходов животного для доения к роботу может превышать 10, но, как правило, колеблется в пределах 5–8 раз [16].

2. Роботизированные поточные линии, ярким примером которых является робот-карусель (рис. 2). Это доильный зал с наибольшей производительностью из всех известных конструкций, при одном главном условии – точный подбор групп животных по продуктивности [17]. Количество доек в сутки определяется технологами и, как правило, не превышает трех.

В настоящее время в Республике Беларусь на промышленных молочно-товарных фермах и комплексах применяются доильные роботы, как правило однобоксовые, сблокированные в одной или нескольких зонах коровника с беспривязным содержанием [18–20].



Рис. 1. Роботизированная доильная установка «Дубль-бокс»

Fig. 1. “Double-box” robotic milking unit

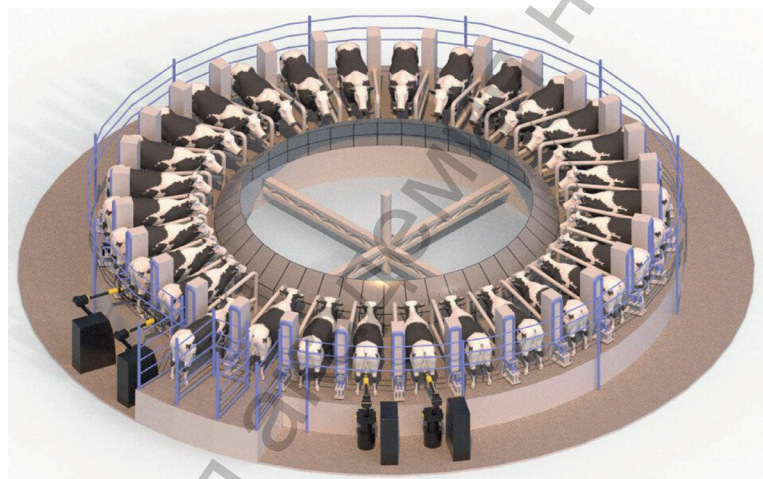


Рис. 2. Роботизированная доильная установка «Карусель»

Fig. 2. “Carousel” robotic milking unit

К хозяйствам, в которых применяются доильные роботы, можно отнести: СПК «Соколовщина», УПП «Ужица-Агро», СХП «Мазоловогаз», УП «Короли» филиала «Весна-энерго», филиал «Тепличный» РУП «Витебскэнерго», филиал «Весна-энерго», ОАО «Хотилы-Агро» – в Витебской области; ОАО «Косино», СХК «Великополье» КУП «Минсктранс» – в Минской области, ОАО «Моисеевка» – в Гомельской области; СПК «Коммунар Агро», ПКУП Совхоз «Сморгонский» – в Гродненской области; ОАО «Александрийское» – в Могилевской области. Роботы-карусели используются в РПУП «Устье» (Оршанский район, Витебская область) – GEA DairyProQ на 40 доильных мест – и в ОАО «Беловежский» (Каменецкий район, Брестская область) – AMR DeLaval, Швеция, на 40 доильных мест.

Комплексный научный анализ роботизированных доильных систем, включая опыт их эксплуатации в хозяйствах республики, с участием специалистов в области инженерии, зоотехнии и ветеринарии позволил приступить к формированию научно-практических заделов для создания отечественных образцов роботизированного доильного оборудования [1, 21, 22].

Анализ показал, что основой оборудования нового поколения должны стать созданные в предыдущие годы отечественные автоматизированные модули управления доением [23, 24] и серийно выпускаемые узлы и системы из отечественной элементной базы для механизированного доения.

Было принято решение разработать комплекс программно-аппаратный роботизированной системы доения, предназначенный для позиционирования доильного оборудования на вымени коровы при роботизированной технологии доения, являющийся унифицированной составляющей для обоих вариантов роботизированных систем доения – боксовой и поточной (см. рис. 1, 2).

Принятый алгоритм использует в качестве входных данных трехмерный набор данных с 3D-камеры, а также информацию о положении и ориентации камеры, полученную от роботизированного манипулятора, на котором установлена камера. В результате обработки входных данных алгоритм генерирует набор обнаруженных сосков, включая их положение, размер и ориентацию.

В разрабатываемом программно-аппаратном комплексе используется 3D-камера O3D314. Еще одним вариантом технического зрения является использование стереопары (вид стереоизображения, представленный парой плоских перспективных изображений объекта, сделанных с помощью камер, которые получили из двух разных точек, расположенных между собой на расстоянии, соответствующем межзрачковому расстоянию человека). Данное решение эффективно применяется в робототехнике при внедрении простых, но эффективных систем получения 3D-изображений, однако является более затратным [9, 19, 20].

3D-камера использует технологию визуализации дальности, которая включает триангуляцию и методы интерферометрии. В ней используется модулированный источник света для расчета глубины и измеряется время отраженного импульса, тем самым определяется расстояние до объекта. Простота вычисления расстояния позволяет реализовать первоначальную обработку данных непосредственно в камере и передавать их на промышленный контроллер [25].

С точки зрения обработки изображения установлено оптимальное расположение камеры: прямо под выменем коровы, камера направлена вверх, на сосок. Это обеспечивает обзор всего вымени и возможность измерения точек данных со всех сторон. Однако из-за особенностей расположения роботизированной руки и физиологии коровы расположение камеры обоснованно принимается позади коровы, с углом отклонения от вертикали α . Исследование рабочего параметра – компенсация угла α (нормализация угла обзора) – представлено на рис. 3 [26].

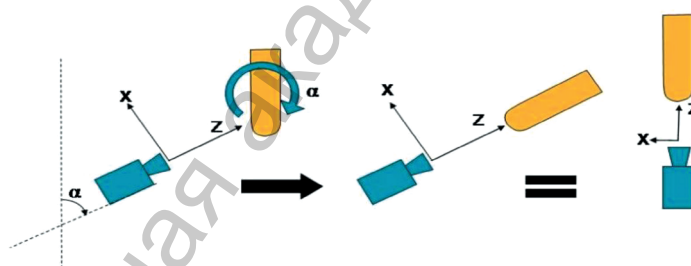


Рис. 3. Нормализация угла обзора

Fig. 3. Normalization of viewing angle

Поворот на α градусов вокруг оси x с последующим поворотом на β градусов вокруг оси y вычисляется с помощью матрицы вращения R :

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha)\cos(\beta) \\ -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha) & \cos(\alpha)\cos(\beta) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

С помощью XYZ-представления точек данных применяется вращение

$$XYZ_{\text{вращ}} = XYZ \cdot R. \quad (2)$$

Для получения исходного набора данных определяется обратное вращение путем интегрирования исходной матрицы

$$XYZ = XYZ_{\text{вращ}} \cdot R^{-1}. \quad (3)$$

На обнаружение сосков влияют помехи при видеонаблюдении (шумы). Для удаления шума из изображений используется низкочастотная фильтрация. Шум имеет гораздо более высокую частоту, чем основные характеристики изображения.

Для устранения размытости усредняющего фильтра используется алгоритм сглаживания каналов. В начале работы алгоритма каждый пиксель рассматривается с равной вероятностью как содержащий сосок или кончик соска. В первую очередь определяются точки интереса в наборе данных – места, которые с большой вероятностью могут быть кончиками сосков. Поиск точек интереса осуществляется путем поиска точек локального минимума в данных (рис. 4).

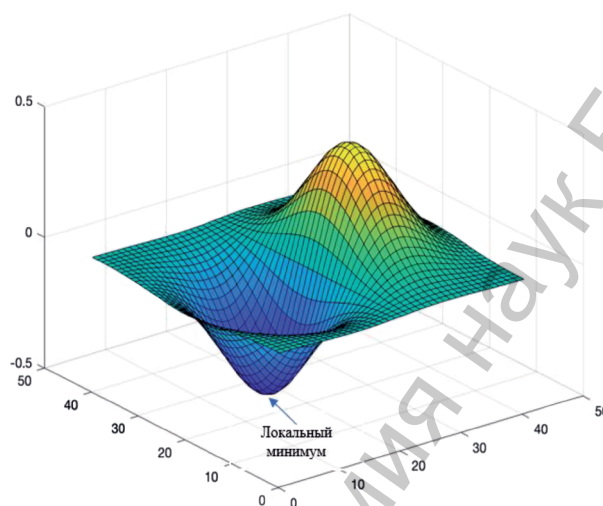


Рис. 4. Поиск локальных минимумов

Fig. 4. Search for local minima

На основе научного обоснования, теоретических и экспериментальных исследований, создан образец комплекса программно-аппаратного роботизированной системы доения КПРД, предназначенный для позиционирования доильного оборудования на вымени коровы при роботизированной технологии доения (рис. 5).



Рис. 5. Комплекс программно-аппаратный роботизированной системы доения КПРД

Fig. 5. Software and hardware complex for a robotic milking system SCRM

За прототип трехмерного манипулятора принято техническое решение фирмы GEA Farm Technologies Mlone, так как оно имеет возможность интеграции не только в боксовые системы доения, но и применимо в доильных залах типа «Карусель», обладает высокой степенью надежности конструкции.

Вследствие вариаций точности глубины и динамического диапазона измеренное расстояние для черных и белых объектов будет немного отличаться на одной и той же дистанции. После анализа изменений и выявления закономерностей в различиях была обнаружена потребность в компенсации данных отклонений программно. Для камеры выполняется черно-белая калибровка, она может быть скорректирована в зависимости от желаемого рабочего диапазона. Данные, полученные с 3D-камеры, при обработке модели вымени разработанным программным обеспечением представлены на рис. 6.

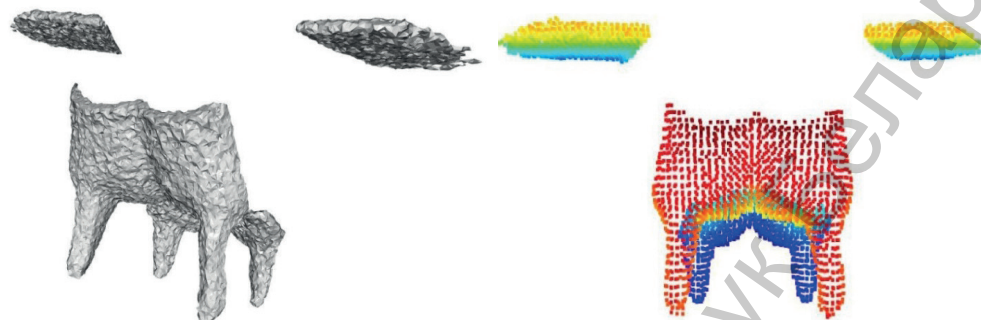


Рис. 6. Данные с 3D-камеры

Fig. 6. Data from 3D camera

При идеальных условиях точность камеры имеет погрешность до 3 мм. Эта точность будет снижаться по мере удаления от камеры и ухудшения условий освещения.

После попадания манипулятора в область захвата 3D-камера считывает данные и передает их на промышленный контроллер. Программное обеспечение для обработки изображений использует полученную информацию о форме вымени и сосков, определяет, что объект действительно является соском, направляет манипулятор к месту расположения соска.

Визуальная система настроена на работу на близком расстоянии, поэтому камера должна быть достаточно близко к вымени, когда начинается процесс обнаружения. Для того чтобы система знала, где предварительно расположить камеру, первоначально система должна быть вручную обучена для каждой коровы, которую она будет доить. Во время процесса обучения манипулятор управляется вручную с помощью джойстика, доильные стаканы подключаются по одному за раз, система обучается и записывает все данные в базу по каждому конкретному животному. Положения сосков сохраняются как предустановленные для последующего полностью автоматического доения [27, 28].

В целом к базовым условиям для разработки и эффективного использования роботизированных средств в промышленных технологиях доения коров можно отнести: адаптацию к биологическим особенностям животных (роботы должны учитывать индивидуальные анатомические и физиологические особенности каждой коровы, обеспечение комфортного и безболезненного процесса доения для снижения стресса у животных); высокую точность и надежность оборудования (точное позиционирование доильных аппаратов с использованием сенсоров и камер, надежность работы без сбоев и минимальное техническое обслуживание для предотвращения простоев); интеграцию с системой управления фермой (возможность сбора и анализа данных о продуктивности, состоянии здоровья и поведении коров, автоматическая регистрация объема и качества молока с последующей обработкой информации для принятия решений); гигиену и санитарию (автоматическая очистка и дезинфекция доильных компонентов для предотвращения инфекций, использование материалов, устойчивых к коррозии и легко моющихся); обеспечение безопасности (защита животных и персонала от травм при работе с роботами, наличие систем аварийного отключения и сигнализации); экономическую эффективность (снижение затрат на ручной труд и повышение производительности фермы, быстрая окупаемость инвестиций за счет повышения качества и количества молока); гибкость и масштабируемость (возможность адаптации робота под разные размеры и типы ферм, легкое обновление программного обеспечения и модернизация оборудования); обучение и техническая поддержка персонала (проведение обучения операторов по использованию и обслуживанию роботов, наличие сервисной поддержки и оперативного ремонта) и др. [29].

Заключение. По результатам проведенных исследований необходимо отметить, что функциональность существующих систем роботизированного доения выглядит несколько избыточной для отечественного рынка, что влечет за собой удорожание оборудования. Поэтому при разработке комплекса программно-аппаратного роботизированной системы доения необходимо принимать наиболее простые, универсальные решения, которые могут применяться в рамках любой конфигурации оборудования с высоким уровнем унификации (в том числе возможность использования отдельных узлов для модернизации существующих доильных установок разного типа), взаимозаменяемости, ремонтпригодности.

Список использованных источников

1. Технологические рекомендации по организации производства молока на новых и реконструированных молочно-товарных фермах / Н. А. Попков, В. Н. Тимошенко, А. Ф. Трофимов [и др.]; НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Жодино: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству, 2018. – 137 с.
2. Керимов, М. А. Оптимизация технологии доения коров за счет совершенствования роботизированной установки преддоильной подготовки вымени / М. А. Керимов, Д. В. Барабанов, И. Я. Г. Нам // *АгроЗooТехника*. – 2023. – Т. 6, № 1. <https://doi.org/10.15838/alt.2023.6.1.6>.
3. Федченко: Беларусь вошла в пятерку мировых лидеров по производству молока на душу населения // *SB.BY*. Беларусь сегодня. – URL: <https://www.sb.by/articles/belarus-voshla-v-pyaterku-mirovykh-liderov-po-proizvodstvu-moloka-na-dushu-naseleniya-fedchenko.html/> (дата обращения: 01.09.2025).
4. Комментарий: качество решает. Как развивается молочная отрасль в Беларуси // *БЕЛТА*. – URL: <https://belta.by/economics/view/kommentarij-kachestvo-reshaet-kak-razvivaetsja-molochnaja-otrasl-v-belarusi-624630-2024> (дата обращения: 01.09.2025).
5. Беларусь: ключевые цифры молочного экспорта 2023 года // *Belarus International*. – URL: <https://belarus-expo.com/беларусь-ключевые-цифры-молочного-эк/> (дата обращения: 01.09.2025).
6. Китиков, В. О. Концепция создания физиологически щадящего процесса машинного доения коров / В. О. Китиков // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – № 1. – С. 126–131.
7. Технологические решения в молочном скотоводстве / О. В. Слинко, О. В. Кондратьева, А. Д. Федоров, В. А. Войтюк // *Эффективное животноводство*. – 2022. – № 1 (176). – С. 90–94.
8. Загидуллин, Л. Р. Цифровизация молочного скотоводства на примере системы роботизированного доения / Л. Р. Загидуллин, Р. Р. Хисамов, Р. Р. Шайдуллин // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 4 (44). – С. 17–22. <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-17>
9. Направления исследований при создании автоматизированных и роботизированных модулей доения коров / Ю. А. Иванов, Л. П. Кормановский, Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. – 2018. – № 3 (31). – С. 15–19.
10. Жилич, Е. Л. Этапы разработки отечественного программно-аппаратного комплекса роботизированной системы доения / Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 18–23. <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-18>
11. Модернизация типоразмерного ряда доильных установок на основе автоматизированных и роботизированных модулей почтчетвертного доения / В. В. Кирсанов, Ю. А. Цой, Л. П. Кормановский [и др.] // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. – 2019. – № 3 (35). – С. 20–24.
12. Сравнительная технико-экономическая оценка автоматизированных и роботизированных доильных установок / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, С. С. Рузин, А. А. Цымбал // *Агроинженерия*. – 2020. – № 3 (97). – С. 39–43. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-3-39-43>
13. Кирсанов, В. В. Концепция создания доильного робота, совместимого с отечественным доильным оборудованием / В. В. Кирсанов, Ю. А. Цой, Л. П. Кормановский // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. – 2016. – № 3 (23). – С. 13–20.
14. Портной, А. И. Перспективы использования роботизированных систем доения коров в молочном скотоводстве Беларуси / А. И. Портной, М. С. Михайловская // *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2023. – Вып. 26, ч. 2. – С. 39–45.*
15. Палкин, Г. Г. Роботы на молочных фермах / Г. Г. Палкин // *Сельскохозяйственный вестник. Беларусь – Россия*. – 2001. – № 8. – С. 16–18.
16. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом / подгот.: В. Ф. Федоренко [и др.]. – М.: Росинформ-агротех, 2004. – 144 с.
17. Schleitzer, G. Melkorganisation in grossen Milchviehherden / G. Schleitzer // *Neue Landwirtschaft*. – 2009. – № 7. – S. 60–62.
18. Диченский, А. В. Аспекты применения роботизированной техники в аграрном производстве – современное состояние и перспективы / А. В. Диченский, Н. В. Гриц, А. Ю. Удотов // *Известия Международной академии аграрного образования*. – 2020. – № 50. – С. 15–19.
19. Терентьев, С. С. Применение средств цифровой трансформации в молочном скотоводстве и их роль в повышении популяционного здоровья и продуктивности животных / С. С. Терентьев, А. В. Пашкин, Е. И. Бурова // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 3 (72). – С. 277–286. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-277-286>

20. Подготовка изображения, получаемого с 3D ToF камеры для автоматического обнаружения сосков коровы / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3 (32). – С. 340–346.
21. Казакевич, П. П. Технологическая концепция «умной» молочной фермы / П. П. Казакевич, В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка. – Жодино: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству, 2021. – 245 с.
22. Технологические принципы развития роботизированного доения / Д. И. Комлач, Д. Н. Колоско, Е. Л. Жилич [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 26–29.
23. Китиков, В. О. Ресурсоэффективные технологии производства молока / В. О. Китиков. – Минск: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, 2011. – 233 с.
24. Perednja, V. I. Reequipment of dairy farms on a base of the machine lowexpeditured technologies / V. I. Perednja, V. O. Kitikov // The 4th research and development conference of central and eastern European institutes of agricultural engineering (CEEAgEng), Moscow, May 12–13, 2005 / VIESH. – Moscow, 2005. – P. 219–224.
25. Применение сверточной нейронной сети для определения границ сосков вымени коровы / С. С. Юрочка, А. Р. Хакимов, Д. Ю. Павкин [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 3 (48). – С. 82–88. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-3-82-88>
26. Teat Pose Estimation via RGBD Segmentation for Automated Milking / N. Borla, F. Kuster, J. Langenegger, J. Ribera, M. Honegger, G. Toffetti // Cornell University. – URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09843> (date of access: 01.09.2025).
27. Sfikas, K. Pose normalization of 3D models via reflective symmetry on panoramic views / K. Sfikas, T. Theoharis, I. Pratikakis // The Visual Computer. – 2014. – Vol. 30, № 11. – P. 1261–1274. <http://doi.org/10.1007/s00371-014-0935-4>
28. Определение положения сосков вымени при роботизации доения / Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая // Техника и технологии в животноводстве. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 18–24. <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-14-4-18>
29. Шарипов, Д. Р. Особенности использования роботизированной системы доения в молочном скотоводстве / Д. Р. Шарипов, О. А. Якимов, И. Ш. Галимуллин // Техника и технологии в животноводстве. – 2021. – № 3 (43). – С. 17–21. <http://doi.org/10.51794/27132064-2021-3-17>

References

1. Popkov N. A., Timoshenko V. N., Trofimov A. F., Muzyka A. A., Baranovskii M. V., Kurak A. S. [et al.]. *Technological recommendations for organizing milk production on new and reconstructed dairy farms*. Zhodino, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, 2018. 137 p. (in Russian).
2. Kerimov M. A., Barabanov D. V., Nam I. Ya. G. Optimization of cow milking technology by improving robotic pre-milking udder preparation unit. *AgroZooTechnika = Agricultural and Livestock Technology*, 2023, vol. 6, no. 1. <https://doi.org/10.15838/alt.2023.6.1.6>
3. Fedchenko: Belarus enters top five world leaders in milk production per capita. *SB.BY*. Available at: <https://www.sb.by/articles/belarus-voshla-v-pyaterku-mirovykh-liderov-po-proizvodstvu-moloka-na-dushu-naseleniya-fedchenko.html/> (accessed 1 September 2025) (in Russian).
4. Commentary: Quality decides. How the dairy industry is developing in Belarus. *BELTA*. Available at: <https://belta.by/economics/view/kommentarij-kachestvo-reshaet-kak-razvivaetsja-molochnaja-otrasl-v-belarusi-624630-2024> (accessed 1 September 2025).
5. Belarus: Key figures of dairy exports in 2023. *Belarus International*. Available at: <https://belarus-expo.com/belarus-key-digits-of-the-milk-ex/> (accessed 1 September 2025).
6. Kitikov V. O. The concept of creation of physiologically gentle process of machine milking of cows. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2017, no. 1, pp. 126–131 (in Russian).
7. Slin'ko O. V., Kondrat'eva O. V., Fedorov A. D., Voityuk V. A. Technological solutions in dairy cattle breeding. *Effektivnoe zhivotnovodstvo [Effective Animal Husbandry]*, 2022, no. 1 (176), pp. 90–94 (in Russian).
8. Zagidullin L. R., Hisamov R. R., Shaidullin R. R. Digitalization of dairy cattle breeding on the robotic milking system example. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2021, no. 4 (44), pp. 17–22 (in Russian). <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-17>
9. Ivanov Y. A., Kormanovsky L. P., Tsoi Y. A., Kirsanov V. V. The directions of research at cows milking automatic and robotic modules creating. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva = Journal of VNIIMZH*, 2018, no. 3 (31), pp. 15–19 (in Russian).
10. Zhilich E. L., Rogalskaya Yu. N. Stages of domestic robotic milking system's software-and-apparatus complex development. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 18–23 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-1-18>
11. Kirsanov V. V., Tsoi Y. A., Kormanovsky L. P., Pavkin D. U., Ruzin S. S. Modernization of the milking units type-sized row on the udder quarter milkings' automated and robotic modules base. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva = Journal of VNIIMZH*, 2019, no. 3 (35), pp. 20–24 (in Russian).
12. Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu., Ruzin S. S., Tsybmal A. A. Comparative technical and economic assessment of automated and robotized milking plants. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering*, 2020, no. 3 (97), pp. 39–43 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-3-39-43>
13. Kirsanov V. V., Tsoi Y. A., Kormanovsky L. P. The concept of creating a milking robot compatible with domestic milking equipment. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva = Journal of VNIIMZH*, 2016, no. 3 (23), pp. 13–20 (in Russian).

14. Portnoi A. I., Mikhailovskaya M. S. Prospects for the use of robotic milking systems in dairy farming in Belarus. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: sbornik nauchnykh trudov* [Actual problems of intensive development of animal husbandry: collection of scientific papers]. Gorki, 2023, iss. 26, pt. 2, pp. 39–45 (in Russian).
15. Palkin G. G. Robots on dairy farms. *Sel'skokhozyaistvennyi vestnik. Belarus' – Rossiya* [Agricultural Bulletin. Belarus – Russia], 2001, no. 8, pp. 16–18 (in Russian).
16. Fedorenko V. F., Lachuga Yu. F., Orsik L. S., Buklagin D. S., Mishurov N. P., Gol'tyapin V. Ya. [et al.]. *Trends in the development of agricultural machinery abroad*. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 2004. 144 p. (in Russian).
17. Schleitzer G. *Melkorganisation in grossen Milchviehherden* [Milking organization in large dairy farms]. *Neue Landwirtschaft*, 2009, no. 7, pp. 60–62 (in German).
18. Dichenskiy A. V., Grits N. V., Udotov A. Yu. Aspects of the use of robotic technology in agricultural production – current state and prospects. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya* [Bulletin of the International Academy of Agrarian Education], 2020, no. 50, pp. 15–19 (in Russian).
19. Terentyev S. S., Pashkin A. V., Burova E. I. Application of digital transformation tools in dairy cattle farming and their role in improving population health and animal productivity. *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet) = Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2024, no. 3 (72), pp. 277–286 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-277-286>.
20. Kirsanov V. V., Pavkin D. Y., Yurochka S. S., Nikitin E. A., Vladimirov F. E., Ruzin S. S. Preparing an image received with 3D ToF camera for automatic detection of cow teats. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve* [Innovations in Agriculture], 2019, no. 3 (32), pp. 340–346 (in Russian).
21. Kazakevich P. P., Timoshenko V. N., Muzyka A. A. *Technological concept of a “Smart” Dairy Farm*. Zhodino, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Animal Husbandry, 2018. 245 p. (in Russian).
22. Komlach D. I., Kolosko D. N., Zhilich E. L., Rogalskaya Yu. N., Getsman S. A. Technological principles of the development of robotic milking. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhdovedomstvennyi tematicheskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental subject collection]. Minsk, 2022, iss. 55, pp. 26–29 (in Russian).
23. Kitikov V. O. *Resource-efficient technologies for milk production*. Minsk, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, 2011. 233 p. (in Russian).
24. Perednja V. I., Kitikov V. O. Reequipping of dairy farms on a base of the machine lowexpedited technologies. *The 4th research and development conference of central and eastern European institutes of agricultural engineering (CEEAgEng)*, Moscow, May 12–13, 2005. Moscow, 2005, pp. 219–224.
25. Yurochka S. S., Khakimov A. R., Pavkin D. Yu., Dovlatov I. M., Vladimirov F. E. Using a convolutional neural network to determine the teat limits of a cow's udder. *Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK = Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*, 2022, vol. 69, no. 3 (48), pp. 82–88 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-3-82-88>
26. Borla N., Kuster F., Langenegger J., Ribera J., Honegger M., Toffetti G. Teat Pose Estimation via RGBD Segmentation for Automated Milking. *Cornell University*. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09843> (accessed 1 September 2025).
27. Sfikas K., Theoharis T., Pratikakis I. Pose normalization of 3D models via reflective symmetry on panoramic views. *The Visual Computer*, 2014, vol. 30, no. 11, pp. 1261–1274. <http://doi.org/10.1007/s00371-014-0935-4>
28. Zhilich E. L., Rogalskaya Yu. N., Nikonchuk V. V., Bernatskaya D. V. Determination of the udder nipples' position at milking robotization. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 18–24 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-14-4-18>
29. Sharipov D. R., Yakimov O. A., Galimullin I. Sh. Features of robotic milking system at dairy cattle breeding using. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2021, no. 3 (43), pp. 17–21 (in Russian). <http://doi.org/10.51794/27132064-2021-3-17>

Информация об авторах

Жилич Евгений Леонидович – заведующий лабораторией механизации процессов производства молока и говядины, Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049, Минск, Республика Беларусь). E-mail: zhilich1987@mail.ru

Китиков Вадим Олегович – доктор технических наук, профессор, директор Института жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси (ул. Академика Купревича, 10, 220084, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kitsikau@mail.ru

Рогальская Юлия Николаевна – научный сотрудник лаборатории механизации процессов производства молока и говядины, Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049, Минск, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000-0002-4107-3121>. E-mail: rogalskaya.juliya@yandex.ru

Information about the authors

Evgeny L. Zhilich – Head of the Laboratory of Mechanization of Milk and Beef Production Processes Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (1, Knorin St., 220049, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhilich1987@mail.ru

Vadim A. Kitikov – Dr. Sc. (Engineering), Professor, Director of the Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus (10, Akademician Kuprevich St., 220084, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kitsikau@mail.ru

Yulia N. Rogalskaya – Research Associate of the Laboratory of Mechanization of Milk and Beef Production Processes, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (1, Knorin St., 220049, Minsk, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-4107-3121>. E-mail: rogalskaya.juliya@yandex.ru