

2. Васильев, С. А. Теоретические предпосылки для реализации контурной обработки почвы склоновых земель активным шнековым орудием / С. А. Васильев, Н. И. Затылков // Природообустройство. – 2019. – № 3. – С. 54–61.

3. Tahir, S. A. R. Localization, Navigation and Activity Planning for Wheeled Agricultural Robots - A Survey / S. A. R. Tahir // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – No. 32. – P. 291–299.

4. Шушков, Р. А. Мобильные роботы в молочном животноводстве / Р. А. Шушков, Г. Г. Рапаков // Передовые достижения науки в молочной отрасли : Сборник научных трудов по результатам работы VI Международной научно-практической конференции, посвящённой дню рождения Николая Васильевича Верещагина, Вологда-Молочное, 25 октября 2024 года. – Вологда-Молочное: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», 2024. – С. 133–138;

5. Шушков, Р.А. Прототипирование мобильного робота с системой управления на основе компьютерного зрения для современного растениеводства / Р.А. Шушков, Г.Г. Рапаков, Д.А. Казаков // АгроЗооТехника, 2026, Том 9, № 2, DOI: 10.15838/alt.2026.9.2.7.

Summary. The developed system makes it possible to integrate an agricultural auger into the autonomous mobile agrobot, providing remote control by the operator's console and automatic protection in case of emergency situations.

УДК 637.112.5

Жилич Е.Л.¹; Бернацкая Д.В.¹;

Романович А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Бондаренко И.И.², кандидат технических наук, доцент;

¹ РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДОЕНИЯ

Аннотация. Мировой опыт молочного скотоводства подтверждает устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом очевидных преимуществ. В связи с этим в статье приведены результаты аналитических и теоретических исследований конструкций роботизированных систем доения.

Ключевые слова: молочное скотоводство, доение, доильные роботы, доильная система, «Карусель».

Abstract. Global dairy farming experience confirms the steady development of robotic milking as a promising area with a number of clear advantages. Therefore, this

article presents the results of analytical and theoretical studies of robotic milking system designs.

Key words: Dairy farming, milking, milking robots, milking system, «Carousel».

Введение. Животноводство в Республике Беларусь занимает ведущее место в сельскохозяйственном производстве, на долю которого приходится до 50 % сельского хозяйства, и является основным источником финансовых средств для развития производственной и социальной базы в агропромышленном комплексе страны [1]. Одной из ведущих отраслей является молочное скотоводство, где используется треть затрачиваемых материальных и финансовых средств в сельскохозяйственном производстве и формируется примерно четверть валовой продукции сельского хозяйства Беларуси. В последние 10-15 лет отрасль активно переводится на индустриальную основу.

Автоматизированная система доения – одна из самых последних разработок, сочетающая в себе новейшие технологии машинного доения, ветеринарные требования и особенный подход к процессу. Использование автоматизированных систем позволяет не только повысить дневные надои молока, но и сохранить здоровье и долгую молочную продуктивность коров [2].

Основная часть.

Первые роботы были выпущены в 1980-х гг. в Западной Европе. Разработкой роботизированных систем доения на начальных этапах занимались следующие фирмы [3], [4]:

- «Lely» (Нидерланды);
- «Prolion» (Нидерланды);
- «Fullwood» (Великобритания);
- «Alfa-Laval-Agri» (Швеция) – «DeLaval» (Швеция);
- «Westfalia Landtechnik» (Германия);
- «Gascoigne Melotte» (Франция).

Первые доильные роботы, точнее комплексы, действительно пригодные для этой цели, появились в Нидерландах в 1992 году. Это был робот компании Lely Industries N.V. В 1998 году фирма DeLaval начала продажи своих автоматизированных систем, а через 10 лет в линейке компании уже насчитывалось порядка 11 систем автоматизированного доения – одно- и многобоксовых [3], [4].

На сегодняшний день наиболее передовыми производителями роботизированных систем доения являются «Lely», «DeLaval» и «GEA Farm Technologies». Компания Lely является основополагающей компанией.

В 1992 году компания Lely выпустила первый в мире коммерческий доильный робот Lely Astronaut A2. В 1997 году новые инновации привели к появлению новой версии Lely Astronaut A2. Была обновлена система очистки.

В 1999 году в Lely Astronaut A2 был добавлен контроль качества молока. Сначала устройство было установлено рядом с молочным бидоном, а с развитием руки MQC переместился в роботизированную руку ближе к корове.

В 2004 году Lely представляет на рынке третье поколение A2 – Lely Astronaut A2 Evolution. Lely Astronaut A2 Evolution – применение статической системы обнаружения сосков и новой вакуумной системы.

В 2005 году компания выпускает Lely Astronaut A3. Вместе с управлением T4C система предоставляет данные о состоянии здоровья коров в режиме реального времени, общую производительность стада и индивидуально. Новая модель поставляется с обновленной роботизированной рукой, а новый MQC перемещается в руку. 2009 год – Lely Astronaut A3 Next. Модель между поколениями доильных роботов A3 и A4 – новая конструкция с улучшенным кормовым ящиком.

В конце 2010 года на рынок выходит Lely Astronaut A4. Революционная концепция iFlow еще больше снижает порог добровольного доения коров. Благодаря концепции «I-flow» корова заходит в стойло и выходит из него, двигаясь вперед и не поворачивая. Это облегчает и ускоряет процесс приучения коровы к доению и повышает пропускную способность системы.

Благодаря информации, поступающей от системы контроля качества молока Lely MQC, пульсатор Lely 4Effect может динамически регулировать пульсацию каждой четверти по отдельности. Таким образом обеспечивается индивидуальный подход к каждой корове, ее индивидуальное адаптивное доение.

Lely MQC (система контроля качества молока) расположена в манипуляторе робота непосредственно рядом с выменем. Во время доения молоко из каждой четверти вымени непрерывно контролируется. Таким образом, можно получить информацию о мастите, содержании жира, белка и лактозы, необходимую для контроля качества молока и здоровья коровы, а также дающую возможность быстро реагировать и получать оптимальное качество молока.

Размеры и перемещения коровы отслеживаются с помощью 3D-камеры. Эта система также делает возможным перемещение манипулятора вместе с коровой, что обеспечивает превосходное рабочее пространство независимо от размеров животного. Lely Astronaut A4 производится вплоть до 2020 года включительно.

В 2018 году представлен доильный робот Lely Astronaut A5.

Lely Astronaut A5 (рисунок 1) результат работы компаний Lely и Festo. Итогом совместной работы над этим проектом стало создание гибридной руки доильного робота.

По сравнению с сервопневматическими и гибридными предшественниками, такими как Astronaut A3 и A4, роботизированный манипулятор с электроприводом имеет явные преимущества, а именно его движение более плавное и, соответственно, меньше пугает животное, он также более энергоэффективен и быстр, поскольку для его размещения на соски коровы требуется на 30 % меньше времени [5].

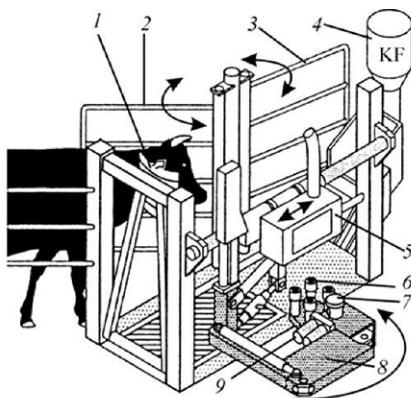


Рисунок 1 – Схема доильного робота «Astronaut» фирмы «Lely» (Нидерланды)
 1 – манипулятор позиционирования животного; 2 – входная дверца; 3 – выходная дверца; 4 – автоматическая кормораздаточная станция; 5 – блок регулирования перемещения руки; 6 – доильный аппарат; 7 – лазерные датчики; 8 – рука робота; 9 – ролики обмыва вымени

Естественно, такое мехатронное решение, созданное компаниями Lely и Festo, не работает без программного обеспечения.

В результате компания Festo подготовила программное обеспечение для автоматизации перемещений руки доильного робота. Прикладное программное обеспечение реализовано с использованием функциональных блоков, библиотек и примеров программ.

Многоблочная роботизированная доильная установка «Liberty» фирмы «Prolion» включает до 4-х боксов, обслуживаемых одной рукой. Технологическая схема работы доильного робота «Liberty» представлена на рисунке 2.

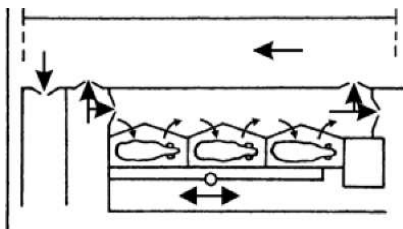


Рисунок 2 – Технологическая схема работы доильного робота «Liberty» фирмы «Prolion» (Нидерланды)

При входе коровы происходит ее идентификация и принимается решение о необходимости доения. При положительном решении в кормушку выдается соответствующая порция концентрированного корма. Предвари-

тельное позиционирование животного осуществляется за счет перемещения передней стенки с кормушкой (размеры животного занесены в компьютер). Затем рука робота перемещается в доильный бокс, захватывает боковой консоль с доильным аппаратом и подводит его под вымя животного.

Места расположения сосков вымени определяются двумя ультразвуковыми датчиками. При этом относительной точкой отсчета является передний правый сосок, координаты которого определяет один из ультразвуковых датчиков. Другой датчик, перемещаясь сверху вниз, определяет расстояния между относительной точкой и другими сосками. При движении животного подвижный модуль соответственно изменяет свое положение [6].

При завершении позиционирования доильные стаканы последовательно надеваются на отдельные четверти вымени и начинается процесс обмыва сосков в стаканах струями воды. Через 8-10 с после этого начинается процесс доения. Количественные показатели и электропроводность контролируются по каждой четверти вымени.

После надевания доильных стаканов рука робота возвращается в исходное положение и может использоваться в других боксах. Под выменем животного доильный аппарат поддерживается при помощи специального бокового консоля. По окончании доения доильные стаканы спадают с сосков вымени и консолями возвращаются в исходное положение. Передняя стенка с кормушкой отходит от коровы, открывается дверца, и корова выходит из бокса [6].

Доильные роботы «Miros» фирмы «Manus» (Франция) отличаются от доильных роботов «Liberty» только доильной аппаратурой, которая разработана фирмой «Manus» [7].

Однобоксовый доильный робот «Merlin», выпускаемый фирмой Fullwood», ориентирован на робота «Astronaut» фирмы «Lely».

Программное обеспечение и технология доения этого робота разработаны в Великобритании [8], [9].

Основными отличиями робота «Merlin» от робота «Astronaut» являются:

- идентификация и регистрация всех перемещений животного осуществляется с помощью шагомера, закрепленного на ноге коровы;
- используется энергосберегающая система шестиминутной промывки и дезинфекции доильного оборудования осуществляется кипящей водой.

Доильный робот фирмы (DeLaval) марки VMS (Voluntary Milking System) имеет следующие отличительные особенности:

- роботизированная рука с гидравлическим приводом, входящая в состав системы VMS, обладает более высокой надежностью и предъявляет меньше требований к техническому обслуживанию по сравнению с пневматическими системами;
- прочность и плавность работы руки при выполнении подготовительных операций;
- устойчивость к жестким внешним условиям.

В роботизированной доильной системе DairyRobot используется технология In-Liner Everything («все операции внутри доильного стакана»), при которой осуществляется:

- однократное подключение стаканов;
- очистка сосков и их стимуляция;
- предварительное сдаивание;
- доение;
- обработка сосков после доения внутри сосковой резины.

In-Liner Everything – это унифицированный, быстрый и удобный процесс, осуществляемый в доильном стакане, что позволяет получать молоко превосходного качества при максимальной эффективности роботизированного доильного оборудования [10].

Роботизированная доильная система RDS FutureLine ELITE фирмы SAC (США) подходит для всех видов молочного животноводства. Преимущества доильных роботов SAC следующие:

- вся электроника вынесена в отдельный блок, что снижает вероятность поломок;
- одна электрическая робот-рука, рассчитанная на доение в одном или двух доильных боксах;
- возможность подключения доильных стаканов в ручном режиме;
- роботизированная сверхнадежная рука для доения Motoman (установлено ~ 300 000 по всему миру);
- новая система нахождения сосков с двойным контролем (лазер и видеокамера);
- система пародезинфекции в стандартной комплектации;
- система фVision2Milk, которая обеспечивает отличное здоровье вымени из-за высокой скорости подсоединения и большей эффективности благодаря чрезвычайно точной системе обнаружения сосков с помощью уникальной технологии наведения, что сводит к минимуму количество неудачных доений.

В роботизированной доильной системе DairyRobot используется технология In-Liner Everything («все операции внутри доильного стакана»), при которой осуществляется:

- однократное подключение стаканов;
- очистка сосков и их стимуляция;
- предварительное сдаивание;
- доение;
- обработка сосков после доения внутри сосковой резины.

In-Liner Everything – это унифицированный, быстрый и удобный процесс, осуществляемый в доильном стакане, что позволяет получать молоко превосходного качества при максимальной эффективности роботизированного доильного оборудования [10].

Высокая эффективность работы однокосовых и многокосовых доильных роботизированных систем на крупных фермах, а также возможность

применения уже опробованных на роботах узлов и процессов, явилось предпосылкой модернизации доильного оборудования в направлении автоматизации высокопроизводительных установок типа «Карусель». Два ведущих производителя доильных установок, а именно шведская компания DeLaval и американская Boumatik представили доильные установки типа «Карусель», оснащенные модульными блоками автоматизации процессов подготовки вымени, подключения подвесной части аппаратов и дезинфекции вымени после доения (рисунок 3), [11–13].

Рисунок 3 – Фрагменты роботизированных доильных установок типа «Карусель» шведской компании DeLaval и американской Boumatik

Отдельные операции выполняются несколькими манипуляторами. Роботизированные доильные манипуляторы имеют широкую зону действия и могут быстро и точно устанавливать аппараты на вымя, как с нормальным расположением, так и с некоторыми отклонениями по высоте. Четыре счетчика молока отслеживают количество надоенного молока, потоки молока, электропроводность и содержание посторонних примесей [14].

Почти одновременно с DeLaval свою концепцию роботизированной доильной «Карусели» представила компания GEA FarmTechnologies [15].

Автоматически выполняется и промежуточная дезинфекция доильных стаканов и их очистка снаружи в промежутке между доениями, что предотвращает передачу инфекции от одной коровы к другой. В качестве опции можно поставить кормушки. То есть доение коровы происходит полностью индивидуально на каждом доильном посту. Для коров с «особенными потребностями» существует режим полуавтоматического или ручного доения.

Заключение. На основе вышеизложенного, можно отметить, что сегодня, развитие автоматизированных систем доения идет в трех направлениях [16]:

- бокс с одной рукой робота;
- роботизированная система из нескольких доильных боксов, обслуживаемых одной рукой;
- роботизированные доильные установки.

Производительность однокоробковых доильных роботов до 60 коров в сутки. Для крупных молочных ферм могут быть использованы несколько однокоробковых роботов или одна многокоробковая роботизированная доильная система. Производительность роботизированных доильных установок значительно выше, однако на данном этапе они нуждаются в доработке.

Использование роботов позволяет в 4 раза снизить затраты труда на доение в сравнении с доильными установками типа «Карусель». Однако, негативным и немаловажным фактором использования роботизированных систем, является их стоимость. В таблице 1 приведены технические характеристики наиболее распространенных доильных роботов, а также их стоимость.

Таблица 1 – Техническая характеристика доильных роботов

Показатели	Однокоробковые	Многокоробковые
Марка	VMS (DeLaval), Merlin (Fullwood), Astronaut (Lely), Freedom (Prolion)	AMS Liberty (Prolion), Leonardo (Westfalia Landtechnik), Galaxy (SAG)
Тип и количество доильных станков	Тандем (один станок)	Тандем (2 станка)
Количество коров, голов	60	80-90
Число доений на одну корову в сутки	2,6	2,6-2,8
Способ промывки доильного оборудования	Циркуляционная, 15-30 мин 3 раза в сутки преимущественно горячей водой	Циркуляционная, 30 мин 2-3 раза в сутки горячей водой с моющим раствором и дезинфекция
Габаритные размеры, д×ш×в (без преддоильной площадки), м	4×4×3	6×4×3
Ориентировочная стоимость, тыс. дол. США	150,0	200,0
Масса, кг	нет данных	нет данных
Срок окупаемости при продуктивности 4-6 тыс. кг в год, лет	не окупается	не окупается

Исходя из большой стоимости импортного доильного оборудования и его наличия на молочно-товарных фермах Республики Беларусь, возникает необходимость для разработки отечественного роботизированного доильного оборудования.

Список использованных источников

1. Технологии производства продукции животноводства. Практикум : учебно-методическое пособие / А. В. Соляник [и др.]. – Горки : БГСХА. – 2020. – 268 с.
2. Трофимо А. Ф., Тимошенко В. Н., Музыка А. А. Обеспечение основных процессов производства молока при доении на роботизированных установках // Матер. конф. «Современные технологии сельскохозяйственного производства» : XII Междунар. науч.-практич. конф. УО «ГТАУ». – Гродно, 2009. – 138 с.
3. Горелик О. В., Харлап С. Ю., Беяева Н. В. Эффективность применения роботизированного доения коров // Материалы национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. Санкт-Петербург. – 2018. – С. 29–31.
4. Тенденции развития доильного оборудования за рубежом : Ан. Обзор / Ю. А. Цой, Н. П. Мишуров, В. В. Кирсанов, А. И. Зеленцов М. : ФГНУ «Росинформарготех». – 2000. – 76 с.
5. Система роботизированного доения LeLy astronaut : innovators in agriculture [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://formagro.ucoz.ru/lely-astronaut-a3.pdf>. – Дата доступа : 26.12.2022.
6. Механизация животноводства / А. М. Семенихин, Н. В. Пономаренко // Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений – АЧГАА : Зерноград. – 2007 – 226.
7. ABRASIVE BLAST ROOMS & RECOVERY SYSTEMS [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.manusabrasive.com/blast-rooms-recovery-systems>. – Date of access : 26.12.2022.
8. The best just got better [Electronic resource]. – Mode of access : http://imtmilk.ru/files/_index_bc152fc0d09f52fd67ebf93bbcbdf695_89_.pdf. – Date of access : 26.12.2022.
9. Rodenburg, J. Robotic milking : Technology, farm design, and effects on work flow : Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 9. – P. 7729–7738.
10. Концепция «Разумного доения» компании GEA. Иллюстрированное руководство по оптимальной технике доения коров / Н. Шуринг // Copyright 2016 by GEA Farm Technologies, Inc. – USA. – 160 с. ISBN: 978-0-692-80480-3.
11. DeLaval voluntary milking system VMS [Electronic resource]. – Mode of access : <https://boumaticboardrepairs.com.au/DelavalVMS.pdf>. – Date of access : 26.12.2022.
12. Salfer J.A., Minegishi K., Lazarus W., Berning E., Endres M.I. Finances and returns for robotic dairies : Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 9. – P. 7739–7749.
13. BouMatic Robotics MR-S1 Service Manual [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.manualslib.com/manual/1721915/Boumatic-Robotics-Mr-S1.html?page=2>. – Date of access : 26.12.2022.
14. Drach U., Halachmi I., Pnini T., Izhaki I., Degani A. Automatic herding reduces labour and increases milking frequency in robotic milking : Biosystems Engineering. – 2017. – Vol. 155. – P. 134–141.

15. Bear C., Holloway L. Beyond resistance : Geographies of divergent more-than-human conduct in robotic milking. *Geoforum*. – 2019. – Vol. 104. – P. 212–221.
16. Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю., Подобедов П. Н., Никитин Е. А. Направления исследований в создании автоматизированных систем почётвертного доения для станочных доильных установок // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 4 (28). – С. 16–20.
17. Еднач, В. Н., Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н. Теоретические предпосылки к обоснованию величин вакуумметрического давления в существующих доильных аппаратах // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 24-25 ноября 2022 г. - Минск : БГАТУ, 2022. - С. 292-295.
18. Системы позиционирования доильного оборудования на вымени коров при роботизированной технологии доения / С. К. Карпович [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Минск, 7-8 июня 2023 г. - Минск : БГАТУ, 2023. - С. 300-304.
19. Применение роботизированных доильных установок. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://doilnye-apparaty.ru/articles/primenenie-robotizirovannih-doilnih.html> – Дата доступа : 04.01.2026.
20. Цифровые технологии в сельском хозяйстве и городской среде. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://doilnye-apparaty.ru/articles/primenenie-robotizirovannih-doilnih.html> – Дата доступа : 02.04.2026.
21. Роботизированное доение. Доильный робот DairyRobot R9500. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://euro-agrotech.ru/doilnyj-robot-dairyrobot-r9500-robotizirovannoe-doenie/> – Дата доступа : 04.04.2026.

УДК 631.35

Юрин А.Н.¹, кандидат технических наук, доцент;
Комлач Д.И.¹, кандидат технических наук, доцент;
Агейчик В.А.², кандидат технических наук, доцент

¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

РАЗВИТИЕ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СБОРА ПЛОДОВ

Аннотация: на уровне изобретения предложена прошедшая производственную проверку платформа для сбора плодов, повышающая производительность технологического процесса и снижающая повреждаемость плодов.

Abstract: The invention proposes a production-tested fruit harvesting platform that increases the productivity of the technological process and reduces fruit damage.