УДК 631.22.018-52

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НАВОЗОУДАЛЕНИЯ

А. В. КИТУН

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: ktmg@batu.edu.by

Ю. А. КРУПЕНИН, П. Ю. КРУПЕНИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com

(Поступила в редакцию 27.10.2025)

Регулярная и полная уборка навоза в животноводческих помещениях является необходимым условием получения высококачественной продукции животноводства, обеспечения требуемого микроклимата и санитарного состояния ферм, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонала. Но удаление навоза из животноводческих помещений – один из наиболее трудоемких процессов на ферме. В связи с этим для сокращения затрат труда и обеспечения качественной и своевременной уборки навоза в животноводческих помещениях за рубежом были разработаны автоматизированные системы навозоудаления.

Конструктивное исполнение навозоуборочного оборудования зависит, главным образом, от его целевого назначения, т. е. для уборки каких навозных проходов они предназначены: со сплошными или щелевыми полами.

Для очистки навозных проходов со сплошными полами используются скреперные роботизированные установки, обеспечивающие сбор навоза с поверхности пола и транспортировку навозной массы к поперечному навозному каналу.

При уборке навоза в проходах животноводческих помещений, оборудованных щелевыми полами, основной функцией используемых технических средств является проталкивание навозной массы через щели в подпольное пространство. Это обусловило разработку для очистки щелевых полов мобильными роботами, работающими в автономном режиме. Такие машины имеют компактную конструкцию и оснащены электроприводом с питанием от аккумуляторных батарей, программируемой системой управления и рабочим органом в виде фронтального скребка.

Автоматизация и роботизация операций по уборке навоза в животноводческих помещениях позволяют добиться максимальной эффективности работы технических средств, улучшения санитарно-гигиенического состояния животноводческих помещений, снижения затрат и улучшения условий труда обслуживающего персонала.

навозоудаление, роботизация, автоматизация, животноводческое помещение, трудоемкость, энергозатраты.

Regular and complete manure removal in livestock buildings is essential for producing high-quality livestock products, ensuring the required microclimate and sanitary conditions on farms, and preserving the health of animals and maintenance personnel. However, manure removal from livestock buildings is one of the most labor-intensive processes on a farm. Therefore, automated manure removal systems have been developed abroad to reduce labor costs and ensure high-quality and timely manure removal in livestock buildings.

The design of manure removal equipment depends primarily on its intended purpose, i.e., whether it is intended for cleaning manure passages with solid or slatted floors. Robotic scraper systems are used to clean manure alleys with solid floors. They collect manure from the floor surface and transport it to a transverse manure channel.

When cleaning manure in the alleys of livestock buildings equipped with slatted floors, the primary function of the equipment used is to push the manure through the slats into the subfloor. This has led to the development of mobile robots operating autonomously for cleaning slatted floors. These machines have a compact design and are equipped with a battery-powered electric drive, a programmable control system, and a frontal scraper.

Automation and robotization of manure removal operations in livestock buildings allow for maximum equipment efficiency, improved sanitary and hygienic conditions, reduced costs, and improved working conditions for maintenance personnel.

***Key words**: manure removal, robotization, automation, livestock building, labor intensity, energy consumption.*

Введение

Регулярная и полная уборка навоза в животноводческих помещениях является необходимым условием получения высококачественной продукции животноводства, обеспечения требуемого микроклимата и санитарного состояния ферм, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонала. Но удаление навоза из животноводческих помещений – один из наиболее трудоемких процессов на ферме. В связи с этим для сокращения затрат труда и обеспечения качественной и своевременной уборки навоза в животноводческих помещениях за ведется активная разработка автоматизированных систем навозоудаления [1–4].

Цель исследования: анализ конструктивно-технологических особенностей современных технических систем для уборки навоза в животноводческих помещениях с разработкой классификации роботизированного навозоуборочного оборудования.

Конструктивное исполнение навозоуборочного оборудования зависит, главным образом, от его целевого назначения, т. е. для уборки каких навозных проходов они предназначены: со сплошными или щелевыми полами.

Для очистки навозных проходов со сплошными полами используются скреперные роботизированные установки, обеспечивающие сбор навоза с поверхности пола и транспортировку навозной массы к поперечному навозному каналу. Автоматизированные навозоуборочные системы такой конструкции выпускает ряд ведущих производителей [5].

Основная часть

Французская фирма Sermap Sas (торговая марка «MIRO») для уборки подстилочного и бесподстилочного навоза из навозных проходов со сплошными полами разработала автономную скреперную установку Scarabeo, основными частями которой являются комбискрепер, блок управления, зарядное устройство и направляющий профиль (рис. 1).

Рис. 1. Автономная скреперная установка Scarabeo

Корпус скрепера установлен на колесах, приводимых в движение от мотор-редуктора с двумя аккумуляторными батареями. При возврате в исходное положение скребки автоматически переводятся в холостое положение. На конечной станции аккумуляторы заряжаются от зарядного устройства.

Задание направления перемещения установки осуществляется за счет взаимодействия направляющего профиля скрепера с желобом, выполненным в навозном проходе помещения. Это позволяет перемещать установку по дуге радиусом до 4 м. Кроме того, при разветвлении навозных проходов предусмотрена возможность использования системы «стрелок» (по аналогии с железнодорожными путями) и уборки навоза поочередно в каждом из них.

Блок управления обеспечивает работу установки в полностью автоматическом режиме по установленной программе с возможностью дистанционного управления рабочим процессом. Безопасная эксплуатация робота обеспечивается за счет функции остановки робота при столкновении его с препятствием. Одна установка может выполнять уборку навоза из нескольких навозных проходов длиной до 100 м (табл. 1).

Таблица 1. **Размеры скреперных установок Scarabeo и навозных проходов**

Размеры установки, мм		Ширина навозного прохода, м	Максимальная длина навозного прохода при уборке, м	
корпус скрепера	длина внешних скребков		бесподстилочного навоза	подстилочного навоза
1600 × 550 × 280	400	1,70…2,49	60	30
2200 × 500 × 280	650	2,50…2,75	80	45
2200 × 500 × 280	1050	2,76…3,00	80	45
2200 × 500 × 280	1450	3,01…3,50	80	45
2700 × 500 × 280	1450	3,51…4,00	100	60
2700 × 500 × 280	2350	4,01…5,00	100	60

Программное обеспечение систем управления позволяет настроить временные интервалы между рабочими циклами и другие параметры.

Безопасная эксплуатация скрепера обеспечивается благодаря наличию функции его остановки при столкновении с препятствием. При этом могут быть запрограммированы следующие этапы поведения оборудования в этой ситуации:

– приостановка работы на 15…30 с;

– попытка возобновления работы;

– в случае невозможности возобновить движение, подача сигнала об аварийной ситуации (светового, звукового, по мобильной связи и др.).

При уборке навоза в проходах животноводческих помещений, оборудованных щелевыми полами, основной функцией используемых технических средств является проталкивание навозной массы через щели в подпольное пространство. Это обусловило разработку для очистки щелевых полов мобильных роботов, работающими в автономном режиме. Такие машины имеют компактную конструкцию и оснащены электроприводом с питанием от аккумуляторных батарей, программируемой системой управления и рабочим органом в виде фронтального скребка [6, 7].

Мобильный навозоуборочный робот Srone разработан канадским подразделением «Houle» компании GEA Farm Technologies (рис. 2). Основные элементы робота размещены на шасси с двумя большими приводными колесами и одним маленьким управляющим колесом.

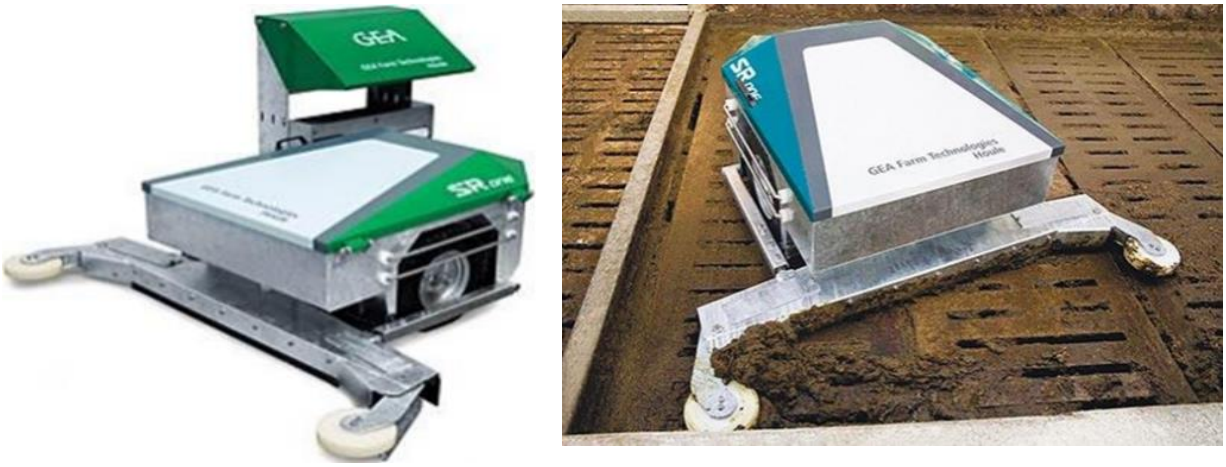

Рис. 2. Навозоуборочный робот Srone фирмы GEA Farm Technologies

Энергоснабжение робота осуществляется от аккумуляторных батарей, емкость которых обеспечивает работу робота в течение 19,5 ч в сутки. При такой продолжительности работы и рабочей скорости передвижения 4 м/мин робот может очищать от навоза поверхность решетчатых полов в животноводческих помещениях до 8 раз в сутки на площади 6000…8600 м^2. Зарядная станция, входящая в комплект оборудования, за счет наличия функции быстрой зарядки позволяет всего за 4,5 ч (обычно в ночное время) производить полную зарядку аккумуляторных батарей.

Высокое качество очистки проходов обеспечивается за счет оснащения скребка боковыми створками с роликами, а также очень высокой маневренностью робота (для полного его разворота требуется расстояние в 2 м). Предотвращение буксования приводных колес и создание необходимого усилия для сдвигания навозной массы (до 100 кг) обеспечивается балластом, увеличивающим общую массу робота до 400 кг, и приводными колесами с шинами с глубоким протектором.

Контакт боковых створок скребка с бортиком навозного канала в сочетании с сенсорами расстояния дает возможность роботу автономно следовать по заданному маршруту. При потере контакта боковых створок с бортиком навозного канала система управления поворачивает робот в сторону бортика вплоть до соприкосновения с ним.

Безопасная эксплуатация Srone обеспечивается наличием функции остановки робота, когда сопротивление его движению превышает допустимое значение. Спустя определенное время после остановки робот возобновляет движение по запланированному маршруту.

Навозоуборочный робот RS250 аналогичной конструкции разработала фирма DeLaval (Швеция). На его шасси размещены электропривод с аккумуляторными батареями, фронтальный скребок и автоматическая система управления с интегрированной функцией безопасной эксплуатации робота. Программируется маршрут передвижения RS250 вручную с использованием портативного контроллера (рис. 3).

Рис. 3. Навозоуборочный робот RS250 фирмы DeLaval

Емкость аккумуляторных батарей робота RS250 позволяет в коровнике на 250 гол. очищать щелевые полы от навоза до 5 раз в сутки без подзарядки.

Фирма JOZ (Нидерланды) разработала робот JOZ-Tech для удаления навоза со щелевых полов. Он, как и предыдущие аналоги, состоит из шасси, электропривода, аккумуляторных батарей, автоматической системы управления и скребка (рис. 4).

Рис. 4. Навозоуборочный робот JOZ-Tech фирмы JOZ

Программное обеспечение системы управления робота JOZ-Tech позволяет ему в автоматическом режиме перемещаться по установленному маршруту (за счет установленных в полу проходов датчиков), обеспечивая необходимую периодичность уборки, остановку в аварийных ситуациях и др.

Система безопасной эксплуатации дает возможность при необходимости самостоятельно находить альтернативные пути движения робота, если какие-либо препятствия делают невозможным его следование по запрограммированному маршруту.

Робот поддерживает беспроводную связь с центральным пультом управления фермы, благодаря чему информация о сбоях и аварийных ситуациях сразу поступает в диспетчерскую. При перемещении со скоростью 4 м/мин, продолжительности непрерывной работы 18 ч и максимальной ширине захвата скребка в пределах 130…190 см, робот способен за сутки очистить до 8000 м^2 поверхности щелевых полов.

Используя свои многочисленные наработки в области создания роботизированных систем для животноводства, фирма Lely разработала мобильный робот Discovery (рис. 5) для уборки навоза со щелевых и коротких (до 5 м) сплошных полов коровников.

Рис. 5. Навозоуборочный робот Discovery

Робот Discovery работает от аккумуляторной батареи и оснащен рабочим органом в виде скребка. Маршрут движения робота программируется с дистанционного пульта управления по электронным каналам связи E-link. С целью более интенсивной очистки наиболее загрязненных участков оператор имеет возможность внести соответствующие изменения в уже введенное задание. Заранее программируется и расстояние робота от внешних конструктивных ограждений коровника, которое поддерживается при всех его перемещениях с помощью ультразвукового датчика. Отправным пунктом для выполнения каждого запрограммированного маршрута уборки служит зарядная станция.

Оригинальным элементом конструкции навозоуборочного робота Discovery является расположенная в его передней части вращающаяся дуга безопасности, предназначенная для предотвращения блокирования движения робота при его столкновении с препятствиями.

Для уборки навоза на сплошных бетонных полах или полах с резиновым покрытием фирмой Lely разработан робот Discovery 120 Collector (рис. 6). В отличие от вышерассмотренных технических средств этот робот не толкает навоз перед собой или проталкивает его через щелевой пол, а собирает его в собственный резервуар. В результате пол остается чистым, а заболевания копыт значительно снижаются.

Рис. 6. Навозоуборочный робот Discovery 120 Collector

Робот Discovery 120 Collector оснащен двумя форсунками для смачивания пола водой: впереди для размягчения прилипшего навоза и, как следствие, более качественной очистки; сзади – для создания на поверхности пола водяной пленки и предотвращения быстрого прилипания к нему новых порций экскрементов. Обе форсунки можно включать и выключать в зависимости от физико-механических свойств навоза и состояния поверхности пола в животноводческом помещении.

Скребки робота направляют навоз к всасывающему отверстию в его корпусе и навозные массы поступают внутрь за счет разрежения, создаваемого вакуумным насосом. По достижении роботом зоны выгрузки вакуумный насос отключается и навоз сливается в приемное отверстие. Одновременно с выгрузкой навоза происходит автоматическое наполнение резервуаров для воды.

Навозоуборочный робот Lely Discovery Collector обладает следующими техническими характеристиками: сухая масса – 370 кг; объем резервуара для навоза – 340 л; объем резервуаров для воды – 70 л; обслуживаемое поголовье коров – до 100 гол.; очищаемая площадь пола – до 500 м^2; суточное энергопотребление – 3,0 кВт·ч; суточное потребление воды – 700 л.

При очистке станочного оборудования для содержания свиней от загрязнений (в основном от навоза) в последнее время достаточно часто используют моечно-дезинфекционные машины высокого давления. Такое оборудование обеспечивает высокое качество очистки и в значительной степени механизирует процесс уборки технологического оборудования. В то же время мойка станков сопровождается выделением в воздух помещения большого количества соединений аммиака, бактерий, грибковой микрофлоры, в результате чего у обслуживающего персонала возникают проблемы со здоровьем (насморк, воспаление глаз, повышение температуры и др.).

Для исключения негативных последствий использования моечных машин высокого давления на здоровье работников специалисты фирмы Ramsta Robotics (Швеция) разработали моечный робот Clever Cleaner (рис. 7).

Рис. 7. Моющий робот Clever Cleaner фирмы Ramsta Robotics

Робот представляет собой шасси с электроприводом, на котором смонтированы рука-манипулятор и барабан для наматывания до 50 м шланга подачи моющего раствора. Для эффективной работы робота необходима моечно-дезинфекционная установка производительностью 0,96…1,08 м^3/ч и давлением моющего раствора 18…20 МПа, которая размещается в животноводческом помещении отдельно.

Максимальный радиус зоны досягаемости руки-манипулятора 4 м, на ее конце установлены гидравлическая фреза для очищения станочного оборудования от прочных загрязнений и сопло для формирования струи моющего раствора (эффективная дальность действия струи до 5,5 м).

Программирование робота осуществляется путем его обучения выполнению требуемой последовательности технологических операций. Так, при первой мойке первого станка оператор управляет движениями руки-манипулятора вручную джойстиком, а все выполняемые им операции автоматически заносятся в память системы управления.

Для мойки технологического оборудования во всем проходе по обе его стороны наносятся маркеры (RFID-метки) в местах остановки робота. Так формируется алгоритм мойки технологического оборудования всего помещения. После программирования системы управления робота для запуска его в работу необходимо лишь ввести номер соответствующей схемы, после чего робот выполнит автоматическую мойку секции путем воспроизведения всех предусмотренных схемой операций.

При возникновении нештатной ситуации (например, блокирование манипулятора) система управления прерывает выполнение текущей операции и выдает аварийный сигнал, для обработки которого робот оснащен интеллектуальной системой самодиагностики. Она контролирует работу всех приводных механизмов и выводит на пульт оператора сведения о сбоях. Аварийный сигнал может передаваться по сотовой связи сразу на несколько номеров мобильных телефонов (до четырех).

Опыт эксплуатации подтверждает, что Clever Cleaner выполняет 80…85 % от общего объема работ по мойке технологического оборудования для содержания свиней. Специалисты фирмы подсчитали, что для обеспечения рентабельности установка должна работать не менее 300 ч в год.

Заключение

Системы навозоудаления являются необходимым элементом животноводческих ферм и комплексов. С их помощью поддерживается достаточный уровень чистоты, обеспечивается соблюдение санитарно-гигиенических требований.

Роботизированное навозоуборочное оборудование можно классифицировать следующим образом:

– технические средства для уборки навоза на щелевых полах;

– технические средства для уборки навоза на сплошных бетонных полах или полах с резиновым покрытием;

– технические средства для очистки станочного оборудования.

Автоматизация и роботизация операций по уборке навоза в животноводческих помещениях позволяют добиться максимальной эффективности работы технических средств, снижения затрат труда, улучшения санитарно-гигиенического состояния животноводческих помещений и улучшения условий труда обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергоанализ процесса навозоудаления при производстве молока и говядины / М. П. Пучка [и др.] // Теория и практика современной аграрной науки: сб. VIII национальной (всероссийской) научн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 24 февраля 2025 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2025. – С. 1357–1360.

2. Цой, Ю. А. Перспективные направления автоматизации систем навозоудаления при беспривязном содержании скота / Ю. А. Цой, В. В. Челноков, Р. А. Мамедова, А. С. Панфилов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. междунар. научно-техн. конф. – 2010. – Т. 3. – С. 136–140.

3. Крупенин, П. Ю. Математическая модель процесса механического транспортирования полужидкого навоза по каналу круглого поперечного сечения / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов // Вестник Белоруской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 176–181.

4. Крупенин, Ю. А. Теоретическое исследование рабочего процесса скреперного навозоуборочного оборудования в проходах с подпольным каналом / Ю. А. Крупенин, П. Ю. Крупенин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В. Р. Петровец (гл. ред.) [и др.]. – Вып. 6. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 80–85.

5. Крупенин, П. Ю. Технические системы точного животноводства: учебное пособие / П. Ю. Крупенин, Ю. А. Крупенин, А. В. Китун. – Горки: БГСХА, 2025. – 128 с.

6. Роботизированные системы в животноводстве: учебное пособие / А. А. Науменко [и др.]; Харьковский национальный технический ун-т сельского хозяйства имени Петра Василенко. – Харьков: ХНТУСХ им. Петра Василенка, 2015. – 171 с.

7. Смирнов, В. А. Роботизированные системы уборки навоза на ферме / В. А. Смирнов // Знания молодых – будущее России: материалы XXII Междунар. студенческой научн. конф.: в 5-и частях, Киров, 03–04 апреля 2024 года. – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 465–468.