



9. Про моніторинг геомеханічних систем які знаходяться під техногенним впливом / С. В. Тинина, І. І. Чоботько, Є. А. Кулак, Г. М. Шевельова // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. – 2023. – № 25. – С. 141–152. DOI: <https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.011>.
10. Monitoring Burning Coal Gangue Dump Based on the 3-D Thermal Infrared Model / Z. Shao, T. Yang, R. Deng, H. Shao // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2024. – Vol. 17. – P. 8979–8995. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3391009>.
11. Кодунов Б. О. Застосування безпілотних літальних апаратів для теплової зйомки відвалів / Б. О. Кодунов, О. О. Давиденко // Технології і процеси в гірництві та будівництві : матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. – Донецьк : ДонНТУ, 2021. – С. 113–118. – URL: https://donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/07/zbirka-tez_2021_compressed.pdf#page=113 (дата звернення: 14.04.2026).
12. Chumachenko S. Automation of monitoring of background radiation and hazardous gas emissions from coal waste dumps using UAV and wireless sensor networks in combat conditions / S. Chumachenko, O. Samoilenko, M. Karpenko // Міжнародний Науковий Журнал «Military Science». – 2025. – Vol. 2, № 4. – P. 72–82. – DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.4.6>.
13. Three-dimensional-imaging thermal surfaces of coal fires based on UAV thermal infrared data / Z. Shao, Y. Li, R. Deng [et al.] // International Journal of Remote Sensing. – 2021. – Vol. 42, № 2. – P. 672–692. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1823044>.
14. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Vegetation Restoration Monitoring in Coal Waste Dumps after Reclamation / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao, L. Zhang // Remote Sensing. 2024. – Vol. 16, № 5. – Art. 881. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16050881>.
15. Muoi Duy NGUYEN Identifying the Potential Application of Unmanned Aerial Vehicle Technology in Mine Waste Dumps / Muoi Duy NGUYEN, Anh Ngoc LE, Hoa Minh NGUYEN, Ngan Thi BUI, Ba Dung NGUYEN // Inzynieria Mineralna. – 2023. – Vol. 1, № 2. – P. 155-172. DOI: <https://doi.org/10.29227/IM-2023-02-24>.
16. Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao [et al.] // Land Degradation & Development. – 2022. – Vol. 33, № 15. – P. 2728–2742. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4297>.

УДК 636.083:631.364

СУЧАСНІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНІ ЗАСОБИ ПРИБИРАННЯ ГНОЮ У ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

В.І. Ребенко¹, Н. Рапавий²

¹к.т.н., доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві, e-mail: rebenko@nubip.edu.ua

²студент групи AI-2301, e-mail: ai23-n.rapavyi@nubip.edu.ua

^{1,2}Національний університет біоресурсів і природокористування України



Анотація. У роботі розглянуто сучасний стан і тенденції розвитку електрифікованих засобів прибирання гною у тваринницьких приміщеннях. Проаналізовано класифікацію систем, наведено конкретні приклади провідних світових виробників, здійснено порівняльний аналіз переваг і недоліків різних технічних рішень. Розглянуто глобальні ринкові тенденції, вплив автоматизації на продуктивність та добробут тварин, а також перспективи впровадження інтелектуальних технологій у галузі.

Ключові слова: механізація тваринництва, гноєприбиральні системи, електричний привід, мобільні роботи-скребки, цифровізація ферми, тваринницька гігієна, IoT у тваринництві.

MODERN ELECTRIC MANURE REMOVAL EQUIPMENT IN LIVESTOCK FACILITIES

Victor Rebenko¹, Nazar Rapavyi²

¹Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Occupational Safety and Biotechnical Systems in Animal Husbandry, e-mail: rebenko@nubip.edu.ua

²Student, Group AI-2301, e-mail: ai23-n.rapavyi@nubip.edu.ua

^{1,2}National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Abstract. This paper examines the current state and development trends of electrified manure removal equipment in livestock facilities. It analyzes the classification of systems, provides specific examples from leading global manufacturers, and conducts a comparative analysis of the advantages and disadvantages of various technical solutions. Global market trends, the impact of automation on productivity and animal welfare, as well as the prospects for the implementation of smart technologies in the industry are examined.

Keywords: livestock mechanization, manure removal systems, electric drive, mobile scraper robots, farm digitalization, livestock hygiene, IoT in livestock farming.

Вступ. Сучасне тваринництво перебуває на етапі глибокої технологічної трансформації. Проблема ефективного видалення гною з тваринницьких приміщень є одним із ключових чинників, що визначають продуктивність ферми, санітарний стан, добробут тварин і рівень забруднення довкілля. За даними провідних аналітичних агентств, світовий ринок систем гноєприбирання у 2023 році оцінювався в 818 млн доларів США з прогнозованим зростанням до 1,3 млрд до 2032 року.

Електрифіковані засоби прибирання гною демонструють найвищий темп росту серед усіх сегментів ринку. Це зумовлено комплексом взаємопов'язаних факторів: дефіцитом робочої сили в аграрному секторі розвинених країн, посиленням екологічних вимог до утримання тварин, зростанням вартості ручної праці та технологічним прогресом у сфері робототехніки, датчиків і штучного інтелекту.



Середньодобовий вихід гною від однієї молочної корови становить близько 68 кілограмів. Це означає, що на фермі з 200 голів щодня утворюється понад 13 тонн відходів, прибирання яких традиційно вимагало значних трудових і часових витрат. Автоматизація цього процесу за допомогою електрифікованих систем дає змогу суттєво підвищити ефективність виробництва.

В Україні проблема механізації гноєприбирання набуває особливої гостроти в умовах збільшення середнього розміру тваринницьких підприємств та скорочення доступної робочої сили в сільській місцевості. За даними Державної служби статистики, частка господарств із поголів'ям великої рогатої худоби понад 200 голів стабільно зростає, що робить ручне прибирання економічно недоцільним. Водночас рівень електрифікації та автоматизації вітчизняних тваринницьких ферм суттєво поступається європейським показникам, що свідчить про значний потенціал для впровадження сучасних електрифікованих систем.

Мета роботи – проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку електрифікованих засобів прибирання гною у тваринницьких приміщеннях, здійснити порівняльний аналіз провідних технічних рішень і визначити перспективи їх впровадження.

Матеріал і результати досліджень. Матеріалом дослідження слугували наукові публікації, технічна документація виробників та аналітичні звіти ринку за 2023–2025 рр. Використано методи порівняльного аналізу, систематизації та узагальнення.

Електрифіковані засоби прибирання гною поділяються на кілька принципово відмінних типів за конструктивними ознаками, принципом дії та ступенем автоматизації.

• **Стаціонарні електроприводні системи зі скребками.** Найпоширенішим типом залишаються каналні та підлогові скребокві системи з електричним приводом. Вони складаються зі скребків, які переміщуються по рейках або напрямних за допомогою електродвигуна потужністю від 1,5 до 5,5 кВт і тросово-ланцюгової передачі. Скребки транспортують гній до гноєзбірника, розташованого в торці приміщення або в поперечному каналі. Такі системи підходять для стандартних прямолінійних корівників і свинарників.

• **Мобільні автономні роботи-згортачі.** Революційним кроком у механізації гноєприбирання стали автономні мобільні роботи. Вони самостійно пересуваються по підлозі приміщення за запрограмованими маршрутами, використовуючи бортові сенсори, лідари або RFID-мітки для навігації. Роботи не потребують тросів, рейок або напрямних — підлога повністю вільна від перешкод. Це принципово змінює підхід до утримання худоби та планування корівника.

• **Вакуумні роботи-колектори.** Принципово відмінним від скребкового є вакуумний принцип дії, реалізований, зокрема, у роботі Lely Discovery Collector. Замість механічного зсуву гною пристрій всмоктує рідкий гній (рідку фракцію гноєрідини) і транспортує його до накопичувального резервуару. Такий підхід є особливо ефективним для підлог із щільним покриттям, де традиційні скребки залишають залишки.

• **Вакуумні стрічкові та транспортерні системи для птахівництва.** У птахівництві широко застосовуються стрічкові конвеєрні системи з електроприводом, які розташовуються під клітковими батареями. Гній падає на стрічку, яка безперервно або циклічно переміщує його до торця корпусу, де він збирається в єдиний накопичувач або одразу вивантажується в транспортний засіб.

Світовий ринок електрифікованих засобів гноєприбирання представлений низкою провідних компаній, розглянемо найбільш значущі з них (табл. 1.).

Таблиця 1. – Порівняльна характеристика провідних виробників електрифікованих засобів гноєприбирання

Виробник / Модель	Принцип дії	Ключові характеристики	Особливості
Lely Discovery Scraper (Нідерланди)	Автономний мобільний скребок	24 В акумулятор, до 14 год/добу роботи	Бездротова зарядка, керування через смартфон
Lely Discovery Collector C2 (Нідерланди)	Вакуумний автономний колектор	Бак > 300 л, споживання ~3 кВт/добу	Система розпилення води (спереду і позаду), нержавіюча сталь
JOZ-Tech (Нідерланди)	Автономний скребок-робот	Патентована сенсорна навігація	Обертання навколо власної осі, робота у вузьких проходах
DeLaval RS (Швеція)	Мобільний скребок-робот	Широкий скребок 1,2–1,4 м	Інтеграція з доїльними роботами DeLaval
BouMatic BVS Robot (США)	Автономний вакуумний скребок	Патентована лопатка система	Адаптація до нерівностей підлоги, запущений 2023 р.
GEA ProManure (Германія)	Комплексна система: скребки + насоси + сепаратори	Масштабовані рішення для великих ферм	Повний цикл від корівника до поля, IoT-моніторинг



Голландська компанія Lely є визнаним піонером у галузі. Перший скребок серії Discovery було розроблено понад 20 років тому, а в 2024 році було виготовлено ювілейний 2000-й екземпляр моделі Discovery Scraper. Модель Collector C2 є флагманом — повністю автономний електричний робот із бездротовою зарядкою, здатний працювати до 14 годин на добу та обслуговувати корівники будь-якого планування без прокладання додаткових кабелів або канавок.

У грудні 2023 року американська компанія BouMatic LLC вивела на ринок власного робота BVS (BouMatic Vacuum Scraper) — повністю автономний пристрій із запатентованою лопатевою системою, що адаптується до нерівностей підлоги та обладнаний системою виявлення перешкод.

Електрифіковані системи гноєприбирання мають значні переваги перед традиційними методами. Насамперед — це суттєве скорочення витрат ручної праці. У країнах з розвиненим тваринництвом дефіцит і висока вартість агронайму є основним стимулом автоматизації. Роботи можуть цілодобово виконувати монотонну та небезпечну роботу без участі людини.

Важливою перевагою є підвищення гігієнічного стану приміщень. Дослідження, проведені в Університеті Міннесоти, підтверджують кореляцію між чистотою підлоги та зниженням захворюваності кінцівок у великої рогатої худоби. Регулярне (до 8 разів на добу) автоматичне прибирання суттєво знижує ризик копитних хвороб, маститів і загальний мікробіологічний фон приміщення.

Роботи сприяють природній поведінці тварин — вільному руху без стресу від присутності людини або тракторної техніки. Встановлено, що в корівниках з роботизованою системою прибирання спостерігається більш рівномірний розподіл тварин по приміщенню та збільшення часу відпочинку, що безпосередньо впливає на молочну продуктивність.

Сучасні електричні системи відрізняються значно нижчим енергоспоживанням порівняно з дизельними тракторами. Витрата електроенергії роботом Lely Discovery Collector становить лише близько 3 кВт на добу, тоді як прибирання трактором потребує в десятки разів більше енергії та пов'язане з викидами вихлопних газів у закритому приміщенні.

Головним стримуючим чинником залишається висока початкова вартість обладнання. Молочний робот-скребок коштує від кількох тисяч до десятків тисяч євро, а повноцінний роботизований комплекс із кількома одиницями техніки для великої ферми може коштувати сотні тисяч доларів. Термін окупності, як правило, становить 3–7 років і суттєво залежить від розміру стада та вартості робочої сили в регіоні.

Мобільні роботи демонструють певні труднощі при роботі зі сухим або злежаним гноєм. Практики з різних країн відзначають, що за умов сухого



гнойового покриву роботи-скребки (без системи зволоження) можуть пропускати ділянки або застрягати. Системи з водяним розпиленням частково вирішують цю проблему, але збільшують кількість рідких відходів.

Очищення кутів приміщення залишається технічним викликом для багатьох систем. Прямокутна геометрія корівника та наявність перегородок, воріт, ковзаник та іншого обладнання суттєво ускладнює траєкторії руху роботів. Розробники постійно вдосконалюють алгоритми навігації, однак у складних приміщеннях частка незачищеної площі може сягати 5–15%.

Залежність від стабільного електропостачання є критично важливою. Перебої в електромережі, особливо в умовах сільської місцевості, можуть паралізувати роботу всіх автоматизованих систем одночасно. Необхідність резервних джерел живлення суттєво збільшує загальну вартість інфраструктури.

Витрати на технічне обслуговування включають регулярне (кожні 6–12 місяців) обслуговування: змащення, перевірку натягу приводів, інспекцію двигунів. Для роботів додаються витрати на заміну акумуляторних батарей (як правило, через 3–5 років), плати керування та сенсорних блоків. Запасні частини провідних брендів можуть бути дорогими та мати тривалий термін постачання.

Ринок роботизованих систем гноєприбирання демонструє динамічне зростання. За оцінками Growth Market Reports, глобальний ринок роботів для прибирання корівників сягнув 412,7 млн доларів США у 2024 році і прогнозується зростання зі CAGR 11,4% до 2033 року, коли ринок оцінюватиметься у понад 1,1 млрд доларів. Сегмент автоматичних роботів-скреперів займає найбільшу частку ринку — близько 45% від загального обсягу.

Ключовою тенденцією є інтеграція IoT-технологій (Internet of Things). Сучасні системи обладнані датчиками, які в режимі реального часу передають дані про стан роботи, виявлення засмічень, рівень заповнення резервуарів і відхилення від маршрутів. Фермер отримує сповіщення на смартфон і може дистанційно коригувати графіки та маршрути роботи.

Інтеграція штучного інтелекту відкриває нові можливості. Дослідження Sun et al. (2024), опубліковане в рецензованому журналі, демонструє, що застосування алгоритмів машинного навчання (reinforcement learning) для оптимізації маршрутів збирача гною дозволило підвищити ефективність прибирання на 85,4% та знизити кількість зіткнень корів і робота на 67,6%.

Важливим напрямом є інтеграція систем гноєприбирання в загальну концепцію «цифрової ферми». Великі виробники, зокрема GEA Group, Lely та DeLaval, пропонують комплексні рішення, де робот для прибирання гною є частиною єдиної екосистеми управління фермою – разом із доїльними роботами, системами годівлі та моніторингу здоров'я тварин.



Вересень 2024 року ознаменувався виходом нового аксесуару Lely Discovery Collector – sand flush, що дозволяє системі ефективно працювати в корівниках з піщаною підстилкою. Це суттєво розширює сферу застосування роботів, оскільки традиційно піщані системи підстилки вважалися непридатними для автоматичного прибирання.

Висновки. На підставі проведеного аналізу можна сформулювати такі основні висновки:

– Електрифіковані системи прибирання гною є стратегічним напрямом розвитку сучасного тваринництва, що забезпечує підвищення продуктивності, покращення здоров'я тварин та зниження навантаження на довкілля.

– Ринок характеризується динамічним зростанням (CAGR 5,4–14,1% залежно від сегменту) та зростаючою конкуренцією між провідними виробниками з Нідерландів, Швеції, Германії та США.

– Мобільні автономні роботи-скребки та вакуумні роботи є найперспективнішим класом обладнання — вони повністю звільняють підлогу від перешкод, забезпечують гнучке програмування та інтегруються з іншими системами ферми.

– Основними обмеженнями залишаються висока початкова вартість, чутливість до нестандартного планування приміщень і залежність від стабільного електропостачання.

– Цифровізація (IoT, AI, хмарні платформи) є визначальним трендом, що суттєво підвищує ефективність і надійність електрифікованих систем гноєприбирання.

– Для вітчизняного тваринництва економічно доцільним є впровадження електрифікованих систем гноєприбирання на фермах із поголів'ям від 150–200 голів ВРХ: саме з цього розміру стада скорочення витрат на ручну працю та ветеринарне обслуговування перекидає капітальні витрати. Для господарств із поголів'ям 200–500 голів орієнтовний термін окупності становить 5–8 років (проти 3–5 у країнах ЄС). Скорочення до 4–6 років можливе за умови державного відшкодування 20–30% вартості обладнання або пільгового кредитування через Фонд розвитку підприємництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Consegic Business Intelligence. Manure Handling Equipment Market Size, Share & Analysis. — 2025. — URL: <https://www.consegicbusinessintelligence.com/manure-handling-equipment-market>
2. Growth Market Reports. Barn Cleaning Robot Market Research Report. — 2024. — URL: <https://growthmarketreports.com/report/barn-cleaning-robot-market>
3. Growth Market Reports. Robotic Manure Removal Systems Market Research Report. — 2024. — URL: <https://growthmarketreports.com/report/robotic-manure-removal-systems-market>

4. Lely North America. Lely Discovery Collector — Barn cleaner for solid floors. — URL: <https://www.lelyna.com/us/solutions/manure/discovery-collector/> [Accessed: 08.04.2026]
5. Lely North America. Lely Discovery Scraper — Barn cleaner for slatted floors. — URL: <https://www.lelyna.com/us/solutions/manure/discovery-scraper/> [Accessed: 08.04.2026]
6. GEA Group AG. GEA ProManure — Intelligent manure technology. — URL: <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/promanure-manure-handling/> [Accessed: 08.04.2026]
7. IEEE Spectrum. Revolutionizing Dairy Farming: How Robots Benefit Cows & Farmers. — 2025. — URL: <https://spectrum.ieee.org/lely-dairy-robots>
8. Farmers Weekly. How robotic scraper is helping reduce disease on dairy farm. — 2019. — URL: <https://www.fwi.co.uk/livestock/slurry-and-manure-management>
9. Straits Research. Manure Removal Robot Market Size, Share and Forecast to 2032. — URL: <https://straitsresearch.com/report/manure-removal-robot-market>
10. Sun C., van der Tol R., Melenhorst R., Ponce Pacheco L.A., Groot Koerkamp P. Path planning of manure-robot cleaners using grid-based reinforcement learning. Computers and Electronics in Agriculture. — 2024. — DOI: 10.1016/j.compag.2024.109456. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924008470>
11. Global Market Insights. Manure Handling Equipment Market Size, Share & Analysis. — 2024. — URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/manure-handling-equipment-market>
12. Research and Markets / Globe Newswire. Robotic Livestock Manure Scraper Market Report 2025. — 2025. — URL: <https://www.globenewswire.com>

УДК 620.91:69

ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ КОНЦЕНТРАТОРІВ У ТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

О.Г. Лисенко¹, М.Д. Драган²

¹к.т.н., доцент кафедри електропривода, e-mail: lysenko.o.g@nmu.one

²студент групи 141-23-1 кафедри електроенергетики, e-mail: Drahan.M.D@nmu.one

^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядаються можливості впровадження люмінесцентних сонячних концентраторів для децентралізованого електропостачання технічних споруд. Дані рішення є перспективними та забезпечують енергетичну незалежність промислових та громадських об'єктів. Джерела розподіленої генерації з використанням сонячної енергії та систем зберігання енергії дозволяють створити раціональні структури електрогенеруючих комплексів та забезпечити автономне електропостачання об'єктів критичної інфраструктури та житлового фонду.

Ключові слова: Концентратори, ЛСК, ФСК, ВДЕ, сонце, вікна.