

УДК 636.002

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.176-185>**В.В. Кравченко**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Войтік**, доц., канд. техн. наук,**І.О. Лісовий**, доц., канд. техн. наук*Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна**e-mail: kr.vasyl.v@gmail.com, av.afex81@gmail.com, lisov.iv.ol@gmail.com*

Застосування мехатронних систем в системі машин для тваринництва

Розглянуто застосування мехатронних систем при утриманні тварин та птиці, забезпеченні мікроклімату, напуванні, кормороздаванні, видаленні гною та отриманні продукції. Проведені дослідження показують, що майже у всіх механізованих процесах в тваринництві використовуються мехатронні системи, які вже або використовуються на фермах або знаходяться ще на етапах розробки та досліджень. Основним рушієм впровадження мехатронних систем в тваринництві є зменшення затрат праці, покращений контроль за механізованими процесами на фермі, покращення виконання механізованих технологічних процесів та забезпечення комфорту тварин.

мехатронні системи, машини для тваринництва, утримання, догляд, первинна продукція

Постановка проблеми. Розвиток сучасного тваринництва нерозривно поєднаний з розвитком технологій. Ця теза стосується як досліджень, спрямованих на вивчення та врахування біологічних особливостей тварин, так і технічних засобів, які використовуються при їх утриманні, годівлі, догляді та одержанні первинної продукції. Основною метою технічних удосконалень існуючих машин та розробки нових машин є забезпечення максимальної ефективності технологічних процесів, економія трудових ресурсів, а також економія часу [1].

З іншого боку, розвиток різноманітних технічних засобів повинен також сприяти комфорту тварин [2], забезпечуючи комфортні умови їх утримання, створюючи умови максимально близькі до так званого «органічного» утримання тварин, що передбачає зменшення обмежень щодо їх пересування та сприяти створенню умов, близьких до їх природнього життя.

Напрямок розвитку технічних засобів в сільському господарстві загалом та механізації тваринництва зокрема спрямований на сучасні інформаційні технології, широке використання мікропроцесорної техніки і мехатронних систем, активний розвиток робототехніки в тому числі, ставлячи такі технічні засоби і технології на новий рівень [1]. Також, особливого значення набувають технології штучного інтелекту, які застосовуються при аналізі великих даних в робототехніці. Штучний інтелект відіграє важливу роль в управлінні життєвим циклом інформації, що включає обробку даних, управління інформаційними потоками та знаннями тощо [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження мехатронних технічних засобів при утриманні різних видів тварин та птиці наведені в багатьох джерелах. При цьому ці дослідження розглядають впровадження мехатронних систем в тваринництві з різних кутів зору: з технічного, експлуатаційного, економічного [4], екологічного, впливу на комфорт тварин тощо. Так автори роботи [5], застосувавши метод інформаційно-логічного аналізу вітчизняних та закордонних науково-технічних джерел інформації узагальнили світовий досвід техніко-технологічного забезпечення

виробництва молока в контексті перспектив застосування смарт-технологій. Ними запропоновано класифікацію автоматичних систем машинного доїння корів та структуру концептуальної моделі процесу виробництва молока на основі смарт-технологій. В роботі [6] на основі аналізу літературних джерел досліджено концепцію ефективного управління виробництвом SmartFarm, в основу якої покладено інноваційні технології максимальної автоматизації та роботизації усіх технологічних процесів. Питання застосування мехатронних систем в сільському господарстві в загальному та в тваринництві зокрема розглянуто авторами робіт [7, 8]. В роботі [8] приведено комплексне дослідження, з оглядом останніх джерел, розвитку та впливу застосування цифрових та мехатронних систем на всі сфери сільськогосподарського виробництва, з урахуванням їх переваг та недоліків. Можливий позитивний та негативний вплив мехатронних впроваджень на тваринницьких фермах на комфорт тварин, їх взаємодію з людиною та навколишнім середовищем розглянуто в роботах [9, 10], де на основі досліджень зроблено висновок, що при впровадженні нових технологій при роботі з тваринами, до уваги повинні братись не тільки економічні фактори, але і моральні, етичні та соціальні [9].

В роботі [10] зроблено детальний огляд літературних джерел в питанні використання засобів точного тваринництва для моніторингу пересування та поведінки тварин на пасовищах та на фермі, використання сенсорів та штучного інтелекту при контролі за здоров'ям тварин, застосування сучасних технічних засобів при годівлі тварин та автоматизованих засобів доїння корів. Автори статті [11] продемонстрували, що техніку та цифрові технології слід розглядати як ключові елементи агроекологічного переходу на нову стадію розвитку.

Детальний огляд джерел та безпосередньо аграрних роботів зроблено авторами статті [12]. Значна частина досліджень спрямована на огляд роботів, які використовуються в тваринництві, а саме роботів, які беруть участь у приготуванні та роздаванні кормів, доїльних роботів, роботів для збирання яєць.

Адаптацію тваринництва в цілому до індустріальної революції Industry 4.0 із запровадженням новітніх технологій точного тваринництва розгорнуто подали автори роботи [13]. Дослідниками проаналізовано значну кількість літературних джерел та структуровано основні досягнення та впровадження по видам тварин, а саме – великій рогатій худобі, вівцям, козам, свиням та птицям. Також виділено окремо впровадження засобів точного тваринництва по областям їх застосування, таким як контроль хвороб, дослідження поведінки тварин, їх біологічні цикли, продуктивність та годівля, доїння.

В статті [14] також аналізуються досягнення Industry 4.0, які дозволяють робити виробництво продукції тваринництва більш передбачуваним. Досліджується роль датчиків, BIGDATA, штучного інтелекту та машинного навчання в зниженні витрат виробництва, підвищенні ефективності, покращенні комфорту тварин.

Постановка завдання. Метою даної роботи є систематизація досліджень та впроваджень мехатронних систем в системі машин для утримання, догляду та отримання первинної продукції тваринництва.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо застосування мехатронних систем в системі машин по утриманню тварин та птиці, забезпеченні мікроклімату, напуванні, кормороздаванні, видаленні гною та отриманні продукції.

Утримання тварин. Розвиток мехатронних систем в системі утримання тварин передбачає керування процесу пересування тварин фермою. Автори роботи [15] розглядають щонайменше чотири поширені варіанти стратегії переміщення корів, які використовуються в стадах з автоматичними системами доїння та використанням «розумних воріт»: (1) вільний рух корів, де корови мають доступ до місць годівлі та

відпочинку в корівнику без обмежень; (2) примусовий рух корів в односторонні ворота, що перекривають шлях від зони відпочинку до зони годівлі, тому корови, які залишають зону відпочинку, повинні увійти в доїльний бокс, щоб їх доїли, або «відмовили», залежно від інтервалу часу після останнього доїння. Після видоювання корову випускають до зони годівлі, а в зону відпочинку вона може повернутися лише через односторонні ворота; (3) примусовий рух корів із «попереднім відбором» через сортувальні ворота, які спрямовують корів, або до зони для доїння, або до зони годівлі. Це скорочує час очікування корів перед доїнням, оскільки до доїльного робота проходять лише корови, які підлягають доїнню; (4) примусовий рух корів із зони відпочинку до зони годівлі через односторонні ворота, але повернутися назад до зони відпочинку вони можуть лише через роботизоване доїльне місце або через сортувальні ворота, які спрямовують корів, непридатних для доїння, безпосередньо зони відпочину.

При утриманні овець та кіз пропонується застосовувати автоматично керовані сортувальні ворота та системи зважування, що підключені до програмного забезпечення для керування стадом, яке сортує тварин у групи або змінює існуючі групи та відокремлює тварин, які потребують, наприклад, лікування [16]. Такі системи мінімізують як затрати праці, так і час, витрачений на перегрупування та переміщення тварин, які зазвичай застосовуються для досягнення одноманітності в групах по надоях молока [17].

Також, при вигульному утриманні тварин на пасовищах, для моніторингу тварин можуть використовуватись безпілотні літальні апарати. Безпілотники можна використовувати для загального огляду стада чи огорож або для допомоги у випасанні тварин, при переходах тварин з пасовища до ферми і навпаки. Також з допомогою дронів можна оглядати пасовища. Так, Precision Hawk пропонує дрони для картографування, огляду та фотографування пасовищ [18].

Забезпечення мікроклімату. Системи вентиляції тваринницьких приміщень є одними з основних елементів із забезпечення належного мікроклімату при утриманні тварин і птиці. У сучасних вентиляційних системах використовуються програмовані багатоступінчасті контролери для управління всім вентиляційним обладнанням [19]. Вентиляційні системи можуть включати вентилятори зі змінною швидкістю, одношвидкісні вентилятори, зволожувачі повітря, підігрів або охолодження повітря та регулювання розміру прохідних отворів. Їх можна використовувати для керування вентиляцією на фермах зі звичайною, тунельною та перехресною вентиляцією. Датчики, приєднані до контролерів вентиляції, надають дані для налаштування обладнання для керування температурою, відносною вологістю та якістю повітря в корівнику. Однією з переваг багатоступеневих контролерів є те, що всі вентилятори та впускні отвори керуються однаковою інформацією датчика. Датчики температури, вологості, швидкості повітря та концентрації газу є найбільш часто використовуваними датчиками з контролерами вентиляції.

Сучасні контролери є складнішими, ніж прості термостати, які мають установку температури лише для одного користувача. Правильно налаштований багатоступеневий контролер може послідовно вмикати всі нагрівачі, вентилятори та охолоджувальне обладнання та економити енергію [20].

Напування. Напування є одним з базових механізованих процесів в тваринництві і використання автоматизованих напувалок не є новиною. З точки зору впровадження елементів мехатронних систем в цей процес, можна розглядати засоби контролю споживання води індивідуально кожною твариною. Адже вода є найважливішою поживною речовиною, яка безпосередньо впливає на продуктивність і комфорт тварин. Необхідно забезпечити достатню кількість чистої води для отримання оптимальних

умов утримання тварин і одержання продукції. Тому вимірювання індивідуального споживання води тваринами може надати інформацію про їхній стан здоров'я [21]. Система вимірювання та реєстрації споживання води запропонована авторами [22] та випробувана на молочній фермі. Вона надавала інформацію про добову кількість споживаної води, тривалість щоденного споживання та об'єм щоденного споживання води кожною коровою на фермі. Що дозволило моніторити несприятливі зміни у здоров'ї корів та виявляти на ранніх стадіях захворювання, що, в подальшому, зменшувало витрати на лікування тварин. Також таку систему моніторингу пропонується використовувати для наукових досліджень.

Кормороздавання. Застосування мехатронних систем в автоматичному годуванні важливо для взаємодії окремих елементів, від кормозабірника до кормового столу [23]. Відомі стаціонарні системи кормороздавання у вигляді конвеєрів і мобільні системи, такі як самохідні або координатні роздавачі-змішувачі [24].

До автоматичних мобільних систем годівлі відносяться роботи-кормороздавачі та роботи підгортачі. Роботи управляються датчиками. Кормороздавач може автоматично заповнюватися зі стаціонарних змішувальних ємностей і здатний роздавати корм праворуч або ліворуч [25].

Так, робот-підрівнювач корму Lely Juno може використовуватися в корівниках будь-якого типу, для всіх рівних і брукованих кормороздавальних проходів, автоматично переміщаючись уздовж кормових решіток різних видів. Під час роботи він підгрибає вал корму висотою до 65 см. Робот-підрівнювач корму працює від акумуляторів і після кожного циклу роботи повертається до зарядної станції. Такий робот пересувається за допомогою трьох коліс (два з яких привідні) [26].

Залежно від ситуації на фермі існують різні системи приводів відповідно до джерела живлення. Найбільша різноманітність представлена серед рейкових автоматичних систем годування. Проте приводи мають низку вимог, а також переваги та недоліки. Мобільні роботи-кормороздавачі можуть працювати від дизельного двигуна або електродвигуна, що живиться від акумулятора. Стаціонарні ж кормороздавачі з конвеєрними стрічками приводяться в дію електроенергією через електродвигуни. Координатні кормороздавачі представляють собою підвішений на рейці бункер із ваговим пристроєм. Живлення забезпечується батареями, тяговими кабелями або через рейку. Контроль (частота роздачі корму, склад раціону тощо) здійснюється за допомогою комп'ютера безпосередньо в бункері для подачі [24].

Ще однією перевагою стаціонарних автоматичних систем кормороздавання є менша потреба в просторі для утримання тварин, тобто, можна використовувати вузькі кормові алеї. При цьому можна з'єднувати кілька різних будівель, зовнішніми рейками чи закритими стрічковими транспортерами, щоб забезпечити безперебійну роботу системи в будь-яку пору року.

Автори роботи [27] провели дослідження можливості використання мехатронних систем для створення системи автоматичного розпізнавання ваги та розмірів тварин при розміщенні тварини перед годівницею для автоматичного регулювання кількості виданого корму окремим тваринам.

Видалення гною. Впровадження мехатронних систем в системах видалення гною реалізується в автоматизованих скребкових системах та в застосуванні мобільних роботів для прибирання гною [28]. В роботі [29] дослідили роботу мобільних роботів DeLaval і Lely для видалення гною на молочних фермах, при безприв'язному утриманні тварин, і задоволеність фермерів їх обладнанням. Автори вказують, що основними проблемами при використанні таких роботів були «застрягання» (72,3%), забруднення датчиків положення (14,9%) і проблеми, пов'язані з процесом зарядження цих роботів

(8,6%). Вони відмітили такі переваги цих машин, як висока якість очищення, довговічність і безпека, нескладність в обслуговуванні, зменшення робочого навантаження на працівників та покращення здоров'я ніг тварин.

В роботі [30] відмічають що роботизація видалення гною має перевагу перед механічними системами, так як при будівництві нових та реконструкції існуючих тваринницьких приміщень відпадає необхідність у виконанні ряду будівельних робіт, наприклад з поглиблення підлоги для гнойових каналів, установки приводних та натяжних пристроїв тощо. Автоматизована система управління дозволяє індивідуально програмувати час очищення, відстань та швидкість руху, маневрування, поведінку робота при зустрічі з твариною й перешкодами. При 18 годинах роботи за добу (решту часу потрібно на підзарядку акумулятора) та швидкості руху близько 4 м/хв робот здатний прибрати гній з території, площею понад 4000 м².

Для прикладу, робот для видалення гною з приміщень LelyDiscoveryCollector працює наступним чином: агрегат розчиняє водою гній, всмоктує його й потім автоматично зливає в збиральну яму. Цей робот має дві форсунки для збрикування водою: передню і задню. Передня форсунка призначена для розм'якшення слизького шару й відтак для більш ґрунтового очищення; задня форсунка забезпечує збереження підлоги мокрою, щоб запобігти швидкому новому прилипанню до підлоги гною й бруду. Процес прибирання приміщення відбувається відповідно до запрограмованого маршруту і встановлених оператором часових меж. Однак підлога приміщення має бути рівною, без перегородок. Навігаційна система агрегату складається з двох ультразвукових датчиків, гіроскопу і відповідного програмного забезпечення [26].

Отримання продукції: доїння. Автоматичні доїльні системи – одна з перших розробок точного тваринництва та використання мехатронних систем в тваринництві [31]. Вони зробили революцію в молочному скотарстві в усьому світі. Впровадження автоматичних систем доїння також започаткувало зміни у роботі всієї ферми. Мехатронні системи в нових системах доїння впроваджуються в доїльних роботах, автоматизованих доїльних залах і карусельних доїльних залах. Такі системи набувають все більшої популярності завдяки можливості скоротити ручну роботу на молочних фермах, забезпечують необхідну частоту доїння на добу навіть за відсутності працівників ферми. Це сприяє підвищенню надоїв [32]. Відомо, що на ефективність доїння можуть впливати різні фактори, зокрема: частота доїння (менша сприяє зниженню надою), кількість корів на одного робота (велика кількість тварин може збільшити конкуренцію в стаді та негативно вплинути на загальний надій) та тип корівника (нові, побудовані спеціально для використання автоматизованих систем доїння, можуть працювати більш ефективно, підвищуючи продуктивність) [33].

Отримання продукції: збирання яєць. В сучасних машинах для збирання та обробки яєць також використовуються роботизовані системи. Відомо, що при підлоговому утриманні птиці кількість яєць знесених поза гніздами становлять (0,1–2)% добової продукції [34]. Так автори роботи [35] представили дослідження щодо розробки робота для збору підлогових яєць. PoultryBot автономний мобільний робот для використання в пташниках. PoultryBot може автономно переміщуватися, уникаючи зіткнень з перешкодами та птицею. При випробуваннях цього робота зареєстровано 46% успішно зібраних яєць, 37% не були зібрані успішно і 16% були пропущені. Результати демонструють дієвість концепції PoultryBot і можливість автономного збору яєць з підлоги в промислових пташниках. Крім того, вони вказують на те, що застосування розумних автономних транспортних засобів у щільному середовищі тварин та птиці є можливим.

Проведений аналіз дозволив виділити основні сфери застосування мехатронних систем у системі машин для тваринництва (табл. 1).

Висновки. Проведені дослідження показують, що майже у всіх механізованих процесах утримання, догляду та отримання продукції в тваринництві та птахівництві використовуються мехатронні системи, які вже або мають конкретні конструктивні рішення та використовуються на фермах або знаходяться ще на етапах розробки та досліджень. Концепції їх впровадження можуть мати різні назви: SmartFarm, системи точного тваринництва, автоматизація та роботизація тощо. Основним рушієм впровадження мехатронних систем в тваринництві є зменшення затрат праці,

Таблиця 1 – Основні сфери застосування мехатронних систем в системі машин для тваринництва

Тип механізованих робіт на фермі	Впровадження мехатронних систем
Утримання тварин	Розумні ворота Безпілотні літальні апарати
Забезпечення мікроклімату	Системи керування обертами вентиляторів Системи керування положенням заслінок Системи керування температурою та вологістю повітря
Кормороздавання	Стаціонарні кормороздавачі Координатні кормороздавачі Мобільні кормороздавачі Роботи-кормороздавачі Роботи-підрівнювачі Системи вимірювання ваги і розмірів тварин для коригування кількості корму
Напування	Контроль споживання води окремими тваринами
Видалення гною	Автоматичні скребкові системи Роботи для видалення гною Роботи для підгортання гною
Отримання продукції	Автоматизовані доїльні зали Роботи-дояри Роботи для збирання яєць

Джерело: розроблено авторами на підставі [1-36]

покращений контроль за механізованими процесами на фермі, покращення виконання механізованих технологічних процесів та забезпечення комфорту тварин. Тому дослідження спрямовані на розвиток та впровадження мехатронних систем в системі машин для тваринництва є актуальними і потребують подальшого розвитку.

Список літератури

1. Болтянський О.В., Болтянська Н.І., Ковальов О.О. Перспективи розвитку мехатронних систем в сільському господарстві. *Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв*: Матеріали МНПК, 25-26 листопада 2021 р. Харків: ДБТУ, 2021. С. 150-152.
2. Павельчук Ю., Колінчук Р. Технології у точному тваринництві. *Наука і техніка сьогодні*. 2023, №8 (22). С. 420-434. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8\(22\)-420-434](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8(22)-420-434)

3. Лебідь О.В., Кіпоренко С.С., Вовк В.Ю. Використання технологій штучного інтелекту в сільському господарстві: європейський досвід та застосування в Україні. *Електронне моделювання*. 2023. Т. 45.№ 3. С. 57-71. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.45.03.057>, 2023
4. Соловей О.Ю., Лисова В.П. Перспективи розвитку галузі тваринництва в умовах цифровізації. Економічний аналіз. *Сучасні тенденції розвитку науки та освіти: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції педагогічних та науково-педагогічних працівників, аспірантів, молодих учених 30 листопада 2021 року*. Ніжин, 2021. С. 145-151.
5. Ткач В.В., Фененко А.І., Афанасьєв І.А. Перспективи техніко-технологічного забезпечення виробництва молока на основі смарт-технологій. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2021. Вип. 14 (113). С. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-16>
6. Веселов Є.В., Щербакова І.Л., Левченко І.С. Інноваційні технології у тваринництві та ефективність впровадження концепції Smart Farm. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип.109.2: С.15-20. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-2.3>
7. Azeta, J. et al. Application of Mechatronics in Agriculture: A review. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2019. p. 032006. DOI:10.1088/1742-6596/1378/3/032006
8. Finger R. Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*. 2023, 50.4: 1277-1309. DOI: <https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>
9. Neethirajan S. Ethics of digital animal farming. *Preprints*. 2021, 2021070368. DOI: 10.20944/preprints202107.0368.v1
10. Monteiro A., Santos S.,Gonçalves P. Precision Agriculturefor Crop and LivestockFarming—Brief Review. *Animals*. 2021. 11. 2345. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11082345>
11. Bellon Maurel V., Huyghe C. Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. *OCL*. 2017. 24(3): D307. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017028>
12. Cheng C., Fu J., Su H., Ren L. Recent Advancements in Agriculture Robots: Benefits and Challenges. *Machines*. 2023. 11. 48. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11010048>
13. Morrone S., Dimauro C., Gambella F., Cappai M.G. Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors*. 2022. 22, 4319. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22124319>
14. Neethirajan S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2020. 29. 100367. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
15. Rodenburg J. Success factors for automatic milking. *Precision Dairy Conference*. Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota. June 26-27, 2013. 2013. p. 22-34.
16. Simitzis P., Tzanidakis C., Tzamaloukas O., Sossidou E. Contribution of Precision Livestock Farming Systems to the Improvement of Welfare Status and Productivity of Dairy Animals. *Dairy*. 2022; 3(1)P. 12-28. DOI: <https://doi.org/10.3390/dairy3010002>
17. Alejandro M. Automation devices in sheep and goat machine milking. *Small Ruminant Research*. 2016. 142. P. 48–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.04.004>
18. Connolly A. The new Digital World of Dairy Farming – Bridging the data gap. *Precision Dairy Farming*. Proceedings of the 2nd International Precision Dairy Farming Conference. 18-20 June 2019. University of Minnesota, 2019. P. 1-7.
19. Janni K.A., Jacobson L.D. Multistage ventilation controllers: not just a thermostat. *Precision Dairy Conference*, Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota . June 26-27, 2013. 2013. P. 63-64.
20. Janni K.A., Jacobson L.D. Ventilation system demonstration trailer. *Precision Dairy Conference*. Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota . June 26-27, 2013. P. 187-188.
21. Axegard C. Individual drinking water intake of dairy cows in an AMS barn. *Degree project in Animal Science Submitted to Swedish University of Agricultural Sciences*. 2017. 42 p.
22. Ertuğrul M., Zengin K., Tarhan S. Development of a new automatic water intake measurement and recording system to monitor individual water drinking behaviors of cattle. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2020, 35.2: P. 245-250. DOI: <https://doi.org/10.7161/omuanajas.673790>
23. Romano E, et al. Increased Cattle Feeding Precision from Automatic Feeding Systems: Considerations on Technology Spread and Farm Level Perceived Advantages in Italy. *Animals*. 2023; 13(21): 3382. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13213382>
24. Grothmann A., Nydegger F., Moritz C., Bisaglia C. Automatic feeding systems for dairy cattle - potential for optimization in dairy farming. *Towards Environmental Technologies*. International Conference on Agricultural Engineering - AgEng 2010. Cemagref, Clermont-Ferrand (2010).P. 275-286.
25. Aydin A. Novel Technologies and Automation Systems In Livestock Farms. *Arch Animal Husb& Dairy Sci*. 2(3): 2021. AAHDS.MS.ID.000538. DOI: 10.33552/AAHDS.2021.02.000538.
26. Oursolutions: веб-сайт. URL: <https://www.lely.com/solutions/> (дата звернення: 10.11.2023).

27. Mosquera L.Q., et al. Design of an Automated System for Cattle-Feed Dispensing in Cattle-Cows. *IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*. New York, NY, USA. 2021. P. 0671-0675. DOI: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666491.
28. Ebertz P., Krommweh M.S., Büscher W. Feasibility Study: Improving Floor Cleanliness by Using a Robot Scraper in Group-Housed Pregnant Sows and Their Reactions on the New Device. *Animals*. 2019; 9(4):185. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9040185>
29. Ruud L.E., Froknestad Ø. Function of automatic manurescrapers. *10th International Livestock Environment Symposium (ILES X)*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2018. p. 1. DOI:10.13031/iles.18-029
30. Науменко О.А., Палій А.П., Чигрин О.А. Застосування роботизованих систем у молочному скотарстві. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства присвячений 85-річчю університету*. 2015. Вип. 157 «Технічні системи і технології тваринництва». С. 32-38.
31. John A.J., et al. Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal* 2016. 10. 1484–1492.
32. Piwczynski D., Gondek J., Sitkowska B., Kolenda M. Comparison of results coming from automatic milking system in selected countries in EUROPE and U.S. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. 21.2: P. 187-196. DOI: /10.5513/JCEA01/21.2.2559
33. Tremblay M., et al. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 2016. 99. 3824–3837. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10152>
34. Bastiaan A., et al. Path planning for the autonomous collection of eggs on floors. *Biosystems Engineering*. Vol.121. 2014. P. 186-199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.03.005>
35. Bastiaan A., et al. Evaluation of the performance of Poultry Bot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. *Biosystems Engineering*. Vol. 174. 2018. P. 295-315, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.015>

References

1. Boltianskyi, B.V., Boltianska, N.I. & Kovalov, O.O. (2021). Perspektyvy rozvytku mekhatronnykh system v silskomu hospodarstvi [Prospects for the development of mechatronic systems in agriculture]. *Modern engineering of agro-industrial and food industries: Materialy MNPК (25-26 lystopada 2021 r.) – Materials of MNPC (pp. 150-152)* [in Ukrainian].
2. Pavelchuk, Y.F. & Kolinchuk, R.V. (2023). Tekhnologii u tochnomu tvarynyystvi [Technologies in precision livestock]. *Nauka i tekhnika s hodni – Science and technology today*, 8 (22), 420-434 [in Ukrainian].
3. Lebid, O.V., Kiporenko, S.S. & Vovk, V.Yu. (2023). Vykorystannia tekhnologii shtuchnoho intelektu v silskomu hospodarstvi: yevropeyskyi dosvid ta zastosuvannia v Ukraini [Use of artificial intelligence technologies in agriculture: european experience and application in ukraine]. *Elektronnemodeliuvannia – Electronic Modeling*, Vol. 45, № 3, 57-71 [in Ukrainian].
4. Synyavina, Yu. & Butenko, T. (2021). Perspektyvy rozvytku haluzi tvarynyystva v umovakh tsyfrovizatsii [Prospects for the development of the livestock industry in the conditions of digitalization]. *Ekonomichnyi analiz – Economic analysis*, 31.1, 178-185 [in Ukrainian].
5. Tkach, V.V., Fenenko, A.I., Afanasiev I.A. (2021). Perspektyvy tekhniko-tekhnolohichnoho zabezpechennia vyrobnytstva moloka na osnovi smart-tekhnologii [Prospects for technical and technological support of milk production based on smart technologies]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskohospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture*, 14 (113), 142-150 [in Ukrainian].
6. Veselov, Ye.V., Shcherbakova, I.L. & Levchenko, I.S. (2019). Innovatsiini tekhnologii u tvarynyystvi ta efektyvnist vprovadzhennia kontseptsii Smart Farm [Innovative livestock technologies and the effectiveness of smart farm implementation]. *Tavriiskyi naukovy visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 109.2, 15-20 [in Ukrainian].
7. Azeta, J., Bolu, C. A., Alele, F., Daranijo, E. O., Onyeubani, P., & Abioye, A. A. (2019, December). Application of Mechatronics in Agriculture: A review. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1378, No. 3, p. 032006). IOP Publishing [in English].
8. Finger, R. (2023). Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, 50(4), 1277-1309 [in English].
9. Neethirajan, S. (2021). Ethics of digital animal farming. *Preprints*, 2021b070368 [in English].
10. Monteiro, A., Santos, S., & Gonçalves, P. (2021). Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review. *Animals*, 11, 2345 [in English].

11. Maurel, V. B., & Huyghe, C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. *Ocl*, 24(3), D307 [in English].
12. Cheng, C., Fu, J., Su, H., & Ren, L. (2023). Recent advancements in agriculture robots: Benefits and challenges. *Machines*, 11(1), 48 [in English].
13. Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M. G. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): an up to date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), 4319 [in English].
14. Neethirajan, S. (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367 [in English].
15. Rodenburg, J. (2013, June). Success factors for automatic milking. In *Precision Dairy Conference, Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota* (pp. 22-34) [in English].
16. Simitzis, P., Tzanidakis, C., Tzamaloukas, O., & Sossidou, E. (2021). Contribution of Precision Livestock Farming systems to the improvement of welfare status and productivity of dairy animals. *Dairy*, 3(1), 12-28 [in English].
17. Alejandro, M. (2016). Automation devices in sheep and goat machine milking. *Small Ruminant Research*, 142, 48-50 [in English].
18. Connolly, A. (2019). The new Digital World of Dairy Farming – Bridging the data gap. *Precision Dairy Farming. Proceedings of the 2nd International Precision Dairy Farming Conference. 18-20 June 2019. University of Minnesota*, (pp. 1-7) [in English].
19. Janni, K.A. & Jacobson, L.D. (2013, June). Multistage ventilation controllers: not just a thermostat. In *Precision Dairy Conference, Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota* (pp. 63-64) [in English].
20. Janni, K.A. & Jacobson, L.D. (2013, June). Ventilation system demonstration trailer. In *Precision Dairy Conference, Mayo Civic Center, Rochester, Minnesota* (pp. 187-188) [in English].
21. Axegard, C. (2017). Individual drinking water intake of dairy cows in an AMS barn. *Degree project in Animal Science Submitted to Swedish University of Agricultural Sciences* [in English].
22. Ertuğrul, M., Zengin, K., & Tarhan, S. (2020). Development of a new automatic water intake measurement and recording system to monitor individual water drinking behaviors of cattle. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2), 245-250 [in English].
23. Romano, E., Brambilla, M., Cutini, M., Giovinazzo, S., Lazzari, A., Calcante, A., ...& Bragaglio, A. (2023). Increased Cattle Feeding Precision from Automatic Feeding Systems: Considerations on Technology Spread and Farm Level Perceived Advantages in Italy. *Animals*, 13(21), 3382 [in English].
24. Grothmann, A., Nydegger, F., Moritz, C. & Bisaglia, C. (2010). Automatic feeding systems for dairy cattle - potential for optimization in dairy farming. *International Conference on Agricultural Engineering - AgEng 2010: Towards Environmental Technologies* [in English].
25. Aydın, A. (2021). Novel Technologies and Automation Systems In Livestock Farms. *Arch Animal Husb & Dairy Sci*. 2(3):. AAHDS.MS.ID.000538 [in English].
26. Oursolutions. Retrieved from *lely.com*. Retrieved from <https://www.lely.com/solutions/> [in English].
27. Mosquera, I.L.Q., Fierro, J.E.R., Zacarias, J.R.O., Montero, J.B., Quijano, S.A.C., & Huamanchahua, D. (2021, December). Design of an Automated System for Cattle-Feed Dispensing in Cattle-Cows. In *2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)* (pp. 0671-0675). IEEE [in English].
28. Ebertz, P., Krommweh, M. S., & Büscher, W. (2019). Feasibility study: improving floor cleanliness by using a robot scraper in group-housed pregnant sows and their reactions on the new device. *Animals*, 9(4), 185 [in English].
29. Ruud, L.E., & Froknestad, Ø. (2018). Function of automatic manure scrapers. In *10th International Livestock Environment Symposium (ILES X)* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers [in English].
30. Naumenko, O.A., Palii, A.P. & Chyhryn, O.A. (2015). Zastosuvanniarobotyzovanykh system u molochnomuskotarstvi [Application of robotic systems in dairy farming]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskohohospodarstva prysviachenyi 85-richchiiu universytetu – The Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture is dedicated to the 85th anniversary of the university*, 157, 32-38 [in Ukrainian].
31. John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Garcia, S. C., & Halachmi, I. (2016). Review: milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal* 10. 1484–1492 [in English].
32. Piwczyński, D., Gondek, J., Sitkowska, B., & Kolenda, M. (2020). Comparison of results coming from automatic milking system in selected countries in Europe and US. *Journal of Central European Agriculture*, 21(2), 187-196 [in English].

33. Tremblay, M., Hess, J. P., Christenson, B. M., McIntyre, K. K., Smink, B., van der Kamp, A. J., ... & Döpfer, D. (2016). Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3824-3837 [in English].
34. Vroegindeweyj, B. A., van Willigenburg, G. L., Koerkamp, P. W. G., & van Henten, E. J. (2014). Path planning for the autonomous collection of eggs on floors. *Biosystems engineering*, 121, 186-199 [in English].
35. Vroegindeweyj, B. A., Blaauw, S. K., IJsselmuiden, J. M., & van Henten, E. J. (2018). Evaluation of the performance of PoultryBot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. *Biosystems engineering*, 174, 295-315 [in English].

Vasyl Kravchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Voitik**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Lisovyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Application of Mechatronic Systems in the System of Machines for Animal Husbandry

The purpose of this work is the systematization of research and implementation of mechatronic systems in the system of machines for keeping, caring for and obtaining the primary products of animal husbandry.

The use of mechatronic systems in keeping animals and poultry, providing a microclimate, watering, feeding, removing manure and obtaining products is considered. The development of mechatronic systems in the animal husbandry system involves controlling the movement of animals through the farm, which is mainly provided by pre-selection gates. Unmanned aerial vehicles can also be used for animal monitoring when animals are kept out on pasture. To ensure the proper microclimate in modern ventilation systems, programmable multi-stage controllers are used to control the ventilation equipment. Introduction of elements of mechatronic systems into animal watering, there was a means of controlling the consumption of water individually by each animal. The application of mechatronic systems is also in stationary feed distribution systems, in mobile systems such as self-propelled or coordinate mixer dispensers, feed pushers, as well as in systems for recognizing the weight and size of animals to automatically change the amount of feed given to individual animals. The implementation of mechatronic systems in manure removal systems is realized in automated scraper systems and in mobile manure cleaning robots. There are also machines for milking and collecting eggs equipped by mechatronic systems.

Conducted research shows that almost all mechanized processes of keeping, care and obtaining products in livestock and poultry farming use mechatronic systems, which already either have specific design solutions and are used on farms or are still at the stages of development and research. The main driving force behind the introduction of mechatronic systems in animal husbandry is the reduction of labor costs, improved control over mechanized processes on the farm, improvement of the performance of mechanized technological processes and ensuring the welfare of animals.

mechatronic systems, machines for animal husbandry, keeping of animals, care, primary production

Одержано (Received) 10.11.2023

Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023