

Overview of animal behavior monitoring systems on the Ukrainian market with a brief description of their operating principles and technical characteristics

Yu. Slon[✉] | P. Skliarov

Article info

Correspondence Author
Yu. Slon
E-mail:
slonyv@ukr.netDnipro State Agrarian and
Economic University,
Serhii Efremov Str., 25
Dnipro, 49009, Ukraine**Citation:** Slon, Yu., & Skliarov, P. (2025). Overview of animal behavior monitoring systems on the Ukrainian market with a brief description of their operating principles and technical characteristics. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (1), 128–140. doi: 10.31210/spi2025.28.01.21

The aim of this publication is to review the main technologies used for detecting and signals related to estrus, calving, feed consumption, and the presence of diseases in dairy cattle. To achieve this, a search for proposals of advanced behavior change monitoring systems and relevant literature was conducted on the Google platform, in general and scientific publications, as well as through communication with representatives from farms and commercial companies (manufacturers and dealers of animal behavior monitoring systems). The review revealed that in modern animal husbandry, automated activity monitoring systems are widely used, which allow obtaining diverse information to improve herd management and increase animal productivity. The use of such devices simplifies the process of detecting estrus, calving, feed consumption, stress situations, and diseases, reducing the resources required for human observation and ensuring. The main devices available today use sensors such as accelerometers, pedometers, inclinometers, thermometers, and others, which are attached to animals to monitor their activity. Some researchers have also conducted studies using devices that do not require direct contact with animals, analyzing images from cameras, 3D cameras, and thermal cameras. There is demand for accessible and easily scalable technologies that can increase the profitability of animal husbandry by improving the management of reproductive processes (detecting animals in estrus, determining the exact time of insemination and calving), enabling early detection of sick animals and monitoring their treatment, managing feeding (by accurately detecting changes in feed consumption and rumination time), and understanding the effectiveness of climate control systems in livestock housing (stress levels in animal groups and body temperature). In conclusion, the market offers effective commercial systems for monitoring changes in cow behavior to detect behavioral changes in animals. By comparing the available technical characteristics of behavior monitoring systems, the COWMANAGER system, which is represented by an ear tag, stands out as the most comprehensive. It tracks the highest number of parameters, such as high activity, activity, rest time, feed consumption, rumination, and temperature. It has several independent and internal validation sources. The system includes additional equipment (a mobile station for locating animals or groups of animals in real-time, either indoors or on pasture) and features data exchange with herd management and breeding gate systems, with potential for further development. The notification function alerts about estrus status, insemination and calving time, feed and rumination time, stress and disease presence, and data visualization in the form of graphs enables the analysis of causes behind behavioral changes in animals.

Keywords: intelligent animal husbandry, farm management, animal health, fertility, management tools, sensors, automated detection.

Огляд систем контролю поведінки тварин на ринку України з коротким описом принципу роботи та технічною характеристикою

Ю. В. Слонь | П. М. Скларов

Дніпровський державний
аграрно-економічний
університет,
м. Дніпро, Україна

Метою даної публікації є огляд основних технологій з описом принципів роботи і доступною технічною характеристикою, які використовуються для виявлення і сповіщень про охоту, отелення, споживання корму і наявність хвороби у молочної худоби. Для цього було проведено пошук пропозицій новітніх систем контролю змін поведінки і відповідної літератури на платформі Google, в загальних і наукових публікаціях та спілкування з представниками господарств і комерційних компаній (виробники дилери систем контролю змін поведінки тварин). У результаті розгляду було виявлено, що в сучасному тваринництві широко застосовуються автоматизовані засоби моніторингу активності, які дозволяють отримувати різноманітну інформацію для покращення управління стадом та підвищення продуктивності тварин. Використання таких пристроїв спрощує процес виявлення еструсу та отелення, родів, споживання корму, наявності стресових ситуацій і хвороби, зменшуючи затрати ресурсів, необхідних для спостереження людиною та висока якість отриманих даних. Основні пристрої, доступні на сьогодні, використовують такі датчики як: акселерометри, крокоміри, інклінометри, педометри, термометри та інші, які закріплюють на тваринах для моніторингу їхньої активності. Також деякими науковцями були проведені дослідження з використанням пристроїв і описані отримані результати, які не потребують прямого контакту з твариною, для аналізу зображень з камер, 3D камер, тепловізорів. Існує попит на доступні та легко масштабовані технології, що дозволяють збільшити прибутковість тваринництва за рахунок підвищення ефективності управління репродуктивним процесом (виявлення тварин в охоті, встановлення точного часу осіменіння та отелення), точним за раннім виявленням хворих тварин і контроль за процесом лікування хворих, управління годівлею (за рахунок точного виявлення змін часу споживання корму та жуйки) та розуміння ефективності роботи систем мікроклімату в приміщеннях (показник стресовості в групах тварин і температури тіла). Загальний висновок полягає в тому, що на ринку представлені комерційні ефективні системи для моніторингу змін в поведінці корів для виявлення змін поведінки тварин. Порівнявши доступні характеристики систем контролю змін поведінки для подальшого проведення детального емпіричного дослідження має більший потенціал система компанії COWMANAGER представлена вушною биркою що визначає найбільшу кількість показників таких як: високу активність; активність; час відпочинку; споживання корму; румінацію та температуру. Має декілька незалежних та внутрішніх джерел перевірки валідності системи. Включає в систему додаткове обладнання (мобільна станція пошуку тварини чи групи тварин в реальному часі в приміщеннях чи пасовищі) та має функції обміну даними з системами управління стадом і селекційною брамою та тенденція подальшого розвитку. Функція сповіщення повідомляє про стан еструсу, часу осіменіння та отелення, час споживання корму та жуйки, наявності стресів і хвороби, а візуалізація даних у вигляді графіків дає можливість проводити аналіз причин змін поведінки тварин.

Ключові слова: інтелектуальне тваринництво, управління фермою, здоров'я тварин, фертильність, інструменти менеджменту, датчики, автоматичне виявлення.**Бібліографічний опис для цитування:** Слонь Ю. В., Скларов П. М. Огляд систем контролю поведінки тварин на ринку України з коротким описом принципу роботи та технічною характеристикою. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 128–140.

Світ ні на хвилину не зупиняється в своєму розвитку та впровадженню новітніх технологій та автоматизації процесів виробництва і переробки продукції. Сільське господарство не стало виключенням з його розумними системами навігації обробітку полів, автоматизованими системами кліматичного контролю тваринницьких приміщень, мобільних автономних систем аналізу виробленої сировини і продукції та інші [1]. Наприклад група учених провели дослідження по використанню інформаційних систем управління молочними фермами Нідерландів встановивши, що опитані фермери використовують близько 50 різних автоматизованих систем [2] для ефективного ведення бізнесу.

Ефективний бізнес значить прибутковий так Galvão K.N., з співавторами використовуючи імітаційну модель, що включала в себе виявлення охоти, використання схеми синхронізації, та поєднання цих методів різних репродуктивних програм для проведення ефективності репродукції і прибутку. Вони дійшли висновків що максимальний прибуток і репродуктивна продуктивність буде за поєднання виявлення охоти і схеми синхронізації, але якщо менеджмент відтворення на високому рівні і будь який метод дає кращі показники то зосередження на цьому методі господарство матиме більші прибутки [3]. Інший науковець Steeneveld W., з співавторами завдяки комп'ютерній програмній моделі перевірили де перевірили близько 80 змодельованих сценаріїв контролю субоптимальної мобільності тварин за допомогою датчиків контролю дійшли до висновку, що раннє виявлення і проведення лікування кулягавості принесло середній позитивний економічний ефект за рік на тварину 51 € [4]. Таким чином застосування датчиків для покращення технологічних та економічних показників тваринництва є перспективним напрямком для проведення подальшого емпіричного дослідження з визначенням ефективності систем виявлення змін поведінки тварин на тлі зменшення людського ресурсу.

У нашій країні керівники і власники тваринницького бізнесу почали все частіше спостерігати високу тенденцію виникнення проблем чи втрат на виробництві пов'язаних з людським фактором. Тому в них поступово, але досить стійко, формується розуміння про те, що потрібно максимально запобігати проблемі нестачі трудових ресурсів шляхом автоматизації та діджиталізації окремих процесів або навіть цілих технологічних систем. Наприклад, це можна показати на прикладі програм управління стадом, які збирають усю інформацію про тварин і працюють за принципом циклічного управління: спочатку аналізують поточну інформацію, визначають та показують показники тварини які виходять за норму, потім складають план робіт, контролюють його виконання і оцінюють результат [5]. Таким чином мінімізуються людські помилки при аналізі і вибірці даних з паперових носіїв та суттєво заощаджує час спеціалістів.

До 2050 року очікується значний приріст попиту на молоко (близько 58 % у всьому світі), що вимагатиме значного зростання обсягів його виробництва [6]. У зв'язку з нарощуванням поголів'я

ВРХ зросла зросла проблема контролю фізіологічних показників, стану здоров'я та переміщення тварин. Тому останнім часом особливу увагу тваринників привернули системи контролю змін поведінки тварин як ефективний інструмент менеджменту відтворення стада [7]. Такі системи фіксують зміни в поведінці тварин, зберігають їх, аналізують та інтерпретують дані у вигляді таблиць, графіків, повідомлень та звітів [8].

За підготовки статті було використано пошук, відбір, опрацювання та аналіз літературних джерел з використанням систем контролю поведінки тварин на ринку України згідно правил для систематичних оглядів літератури.

Використано інструменти реферативної бази даних і наукометричної платформи Scopus – 50 джерел літератури, реферативної наукометричної бази даних наукових публікацій Web of Science – 40 джерел літератури, пошукової системи Google Scholar – 46 джерел літератури, базу наукової періодики України із застосуванням для пошуку ключових слів «системи контролю поведінки тварин», «інтелектуальне тваринництво», «управління фермою», «інструменти менеджменту» («animal behavior control systems», «intelligent animal husbandry», «farm management», «management tools»).

Оцінка ринку проводилася шляхом пошуку в загально доступних ресурсах інформації про наявність виробника чи офіційного представництва на території України які офіційно надають послуги з завезення, розмитнення і встановлення обладнання, налаштування системи, навчання персоналу користування системою, сервісного обслуговування та гарантійних обов'язків. До уваги не бралось обладнання та системи які власники господарств придбали не в офіційних Українських представників (такі системи присутні в Україні), або системи на момент проведення аналізу не мали доступної про себе інформації. Тобто якщо є інформація в цифрових чи друкованих виданнях про виробника чи офіційного представника, опис системи, короткі характеристики, відгуки клієнтів та інша інформація яка підтверджує офіційне існування і практичне використання системи контролю змін поведінки тварин тільки такі системи бралися до аналізу.

Оцінка систем контролю змін поведінки тварин має складності в глибокому аналізі характеристик в зв'язку з комерційною таємницею багатьох показників (алгоритми обчислення даних, алгоритми машинного навчання, характеристики датчиків та інші). Тому порівняння проводилося по показникам які є загальнодоступними і наведені в таблицях.

Використання систем контролю поведінки тварин має численні переваги порівняно з методом спостереження за тваринами працівниками. Ось декілька ключових переваг:

1. Об'єктивність і точність: системи контролю поведінки використовують датчики і алгоритми для збору та аналізу даних про поведінку тварин. Це дозволяє отримувати об'єктивні та точні вимірювані показники без впливу емоцій чи суб'єктивності [9].

2. Континуальний моніторинг: системи контролю поведінки можуть працювати цілодобово без

перерви, що дозволяє збирати дані про тварин протягом усього дня та ночі [10]. Це дозволяє виявляти зміни у поведінці та здоров'ї тварин навіть у нічний час.

3. Швидкість реакції: системи контролю поведінки можуть автоматично виявляти аномальність у поведінці тварин та сповіщати негайно фермера. Це дозволяє швидко реагувати на потенційні проблеми та запобігати їх подальшому розвитку [11].

4. Економія часу та праці: використання систем контролю поведінки може зменшити необхідність у людських спостереженнях та перевірках тварин. Це дозволяє спеціалістам господарства економити час та зусилля, які можуть бути використані для інших аспектів управління фермою [12].

5. Відсутність людських помилок: такі спостереження можуть бути помилковими та некоректними через втому, відволікання або суб'єктивність. Використання систем автоматичного контролю поведінки допомагає уникнути цих проблем та забезпечити більш точні результати [3].

6. Масштабованість: системи контролю поведінки можуть бути легко масштабованими для використання в різних розмірах ферм та для різних видів тварин. На відміну від візуального методу, який здебільшого застосовується для дослідів при визначенні поведінки малої групи тварин [14]. Це робить ці системи універсальними та придатними для використання в різних умовах.

Системи контролю поведінки тварин включають різноманітне обладнання, яке допомагає збирати дані про тварин, передавати та аналізувати поведінку. Основні складові такої системи можуть включати [15]:

1. **Датчики** є ключовим елементом системи контролю поведінки. Датчик – це пристрій, який вимірює або виявляє біологічні, хімічні, фізичні або механічні властивості або їх комбінації [16], залежно від конкретних потреб системи контролю. Можуть застосовувати такі датчики як:

✓ **акселерометри**: вимірюють рух та активність тварин [17], дозволяючи виявляти зміни в поведінці, такі як ходьба, біг, лежання чи жування;

✓ **педометри**: фіксують кількість кроків, що робить їх корисними для моніторингу активності та виявлення еструсу;

✓ **інклінометри**: вимірюють кут нахилу тіла тварини, що допомагає визначати позицію тварини (стоячи, лежачи);

✓ **гіроскопи**: використовуються для вимірювання та контролю орієнтації та рухів тварини;

✓ **температурні датчики**: вимірюють температуру тіла тварин, що дозволяє виявляти лихоманку та інші ознаки захворювань;

✓ **датчики жуйки**: вимірюють рухи, пов'язані з жуванням, що допомагає контролювати споживання корму та жуйку;

✓ **GPS датчики**: відстежують місцезнаходження тварин, що корисно для моніторингу переміщень на великих пасовищах;

✓ **датчики pH рубця**: вимірюють рівень кислотності в рубці, що допомагає контролювати здоров'я травної системи;

✓ **електрокардіографічні датчики**: використовуються для вимірювання серцевого ритму та виявлення серцевих аномалій.

✓ **інфрачервоні датчики**: використовуються для безконтактного вимірювання температури та інших фізіологічних параметрів;

✓ **камери та системи комп'ютерного зору**: аналізують зображення для визначення поведінкових патернів [18], таких як еструс або ознаки стресу [19].

2. **Пристрої збору даних**: це обладнання, яке отримує сигнали від датчиків і фіксує інформацію про поведінку тварин. Наприклад:

✓ **пристрої збору даних**: це пристрої, які збирають дані від датчиків у реальному часі та передають їх до центральної системи або хмарного сховища даних для подальшого аналізу та обробки;

✓ **базові станції або приймачі**: це пристрої, розташовані на фермі, які отримують дані від датчиків, розташованих на тваринах, та передають їх до системи моніторингу (маршрутизатори, координатори) [20];

✓ **мобільні або портативні пристрої збору даних**: це можуть бути смартфони, планшети або спеціалізовані пристрої, які дозволяють фермерам отримувати доступ до даних про поведінку тварин навіть у режимі реального часу та сповіщати про зміни в поведінці тварин [21].

Вони можуть бути встановлені безпосередньо на тварині або розміщені в їхньому оточенні [22].

3. **Системи збору та збереження даних**: ці системи призначені для збору, обробки та збереження даних, отриманих від датчиків та пристроїв збору даних. Вони можуть включати персональні комп'ютери, сервери, хмарні сервіси та спеціальне програмне забезпечення для аналізу, інтерпретації та візуалізації даних.

4. **Комунікаційні засоби**: ці засоби дозволяють передавати дані з пристроїв збору даних до систем збору та збереження даних. Це можуть бути дротові або бездротові з'єднання, такі як Bluetooth, Wi-Fi, LoRa, NB-IoT, Zigbee [23] та інші.

5. **Інтеграція з іншими системами**: деякі системи контролю поведінки можуть бути інтегровані з іншими системами [24] управління фермою (MilkCentre, DelPro, Юніформ-Agri, Dairy Farm Management) або програмами для автоматизації процесів, що дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління стадом.

Ці компоненти можуть бути використані окремо або в поєднанні для створення комплексної системи контролю поведінки тварин, яка забезпечує надійний і точний моніторинг та аналіз поведінки тварин на фермі.

Блоки датчиків мають різну форму, забарвлення, виготовлені з різних матеріалів та розташовуються на різних місцях тіла тварини: вушні бирки кріпляться на вушну раковину [25]; ошийники з датчиками встановлюють на шию; педометри кріплять дистальних відділах кінцівок [26]; датчики у вигляді болюсів вводять в передшлунки [27, 28] та інші (*рис. 1*).



Рис. 1. Основні місця розташування блоків датчиків на тілі тварини

Інколи комерційні компанії пропонують поєднані системи наприклад: педометр з ошейником; педометр з ошейник і системою фізико-хімічного аналізу молока (доїльні роботи, деякі доїльні зали); ошейник і системою фізико-хімічного аналізу молока [29] та інші комбінації. Також для споживача є системи які мають можливість обміну даними з іншими програмами інших виробників створюючи загальну базу даних.

Можна спостерігати певну залежність між локалізацією блоків датчиків на тілі тварини та кількістю і якістю відстежуваних показників в поведінці тварини. Таку залежність можна спостерігати в **таблиці 1**.

Таблиця 1

Показники, які визначають системи в залежності від локалізації на тілі тварини

Назва показника	Системи контролю			
	бирка	ошейник	датчик на кінцівку	блюс
Активність	+	+	+	+
Місцезнаходження	+	+	–	–
Жуйка	+	+	–	–
Час споживання корму	+	+	–	–
Час ходьби	–	+	+	–
Час відпочинку	+	–	+	–
Температура тіла	+	–	–	+
pH рубця	–	–	–	+

Але, все ж кількість показників, які визначаються системою більше, залежить від виробника тієї чи іншої системи контролю змін поведінки тварин, тому що компанія-виробник хоче представляти на ринку індивідуальний унікальний продукт.

Блок датчиків, наведених у **табл. 1**, у своїй більшості вимірюють декілька показників, але є блоки датчиків, які визначають тільки один показник такі як: точне визначення часу отелення [30], визначення серцевого ритму, температури тіла, ідентифікації тварини, визначення жувальних рухів, активність [31] та інші (**рис. 2 а-л**). Локалізація таких приладів може бути на корені хвоста, у просвіті піхви [32], фіксація на зовнішніх статевих губах та піхви [33], на потилиці, крижовій кістці, кістках носа та інші. В Україні вище зазначені системи відсутні або не здобули розповсюдження.

Сучасні програми контролю поведінки мають алгоритми аналізу отриманих даних та алгоритми

машинного навчання [34], тобто вони не тільки збирають дані з датчиків, їх записують і аналізують, а й на основі аналізу даних навчаються [35]. Навчання проявляється в тому, що аналіз і інтерпретація отриманих даних стає точнішим та обґрунтованим. Таким чином, програма розвивається, удосконалюючи свої алгоритми аналізу та інтерпретації висновків для точного визначення причин зміни поведінки тварин. До таких типів машинного навчання можна віднести:

1. Контрольоване навчання для класифікації (Supervised Learning – CL): використовується для класифікації різних видів поведінки корів, таких як активність, харчування, відпочинок і т. д.

2. Контрольоване навчання для регресії (Supervised Learning – REG): використовується для прогнозування параметрів поведінки корів, наприклад, їхньої продуктивності або здоров'я.

3. Неконтрольоване навчання для кластеризації (Unsupervised Learning – CLU): допомагає у групуванні корів за схожими характеристиками поведінки без використання міток.

4. Неконтрольоване навчання для виявлення аномалій (Unsupervised Learning – ANO): використовується для виявлення аномальної поведінки корів, яка може вказувати на проблеми з їхнім здоров'ям.

5. Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning – RL): допомагає в навчанні моделей приймати рішення щодо оптимального управління керівництвом на основі нагороди чи метрики успішності.

6. Глибоке навчання (Deep Learning – DL): використовується для аналізу складних та великих обсягів даних, наприклад, відеозаписів або зображень корів [31].

7. Навчання на основі графів (Graph-based Learning – GL): використовує структуру графа для аналізу взаємозв'язків між коровами та їхньою поведінкою.

8. Навчання на основі тексту (Text-based Learning – TL): допомагає в аналізі текстової інформації, наприклад, звітів або спостережень щодо поведінки корів.

9. Навчання з використанням рекомендаційних систем (Recommendation-based Learning – RL): використовується для рекомендаційних систем, які надають рекомендації щодо управління стадом корів.

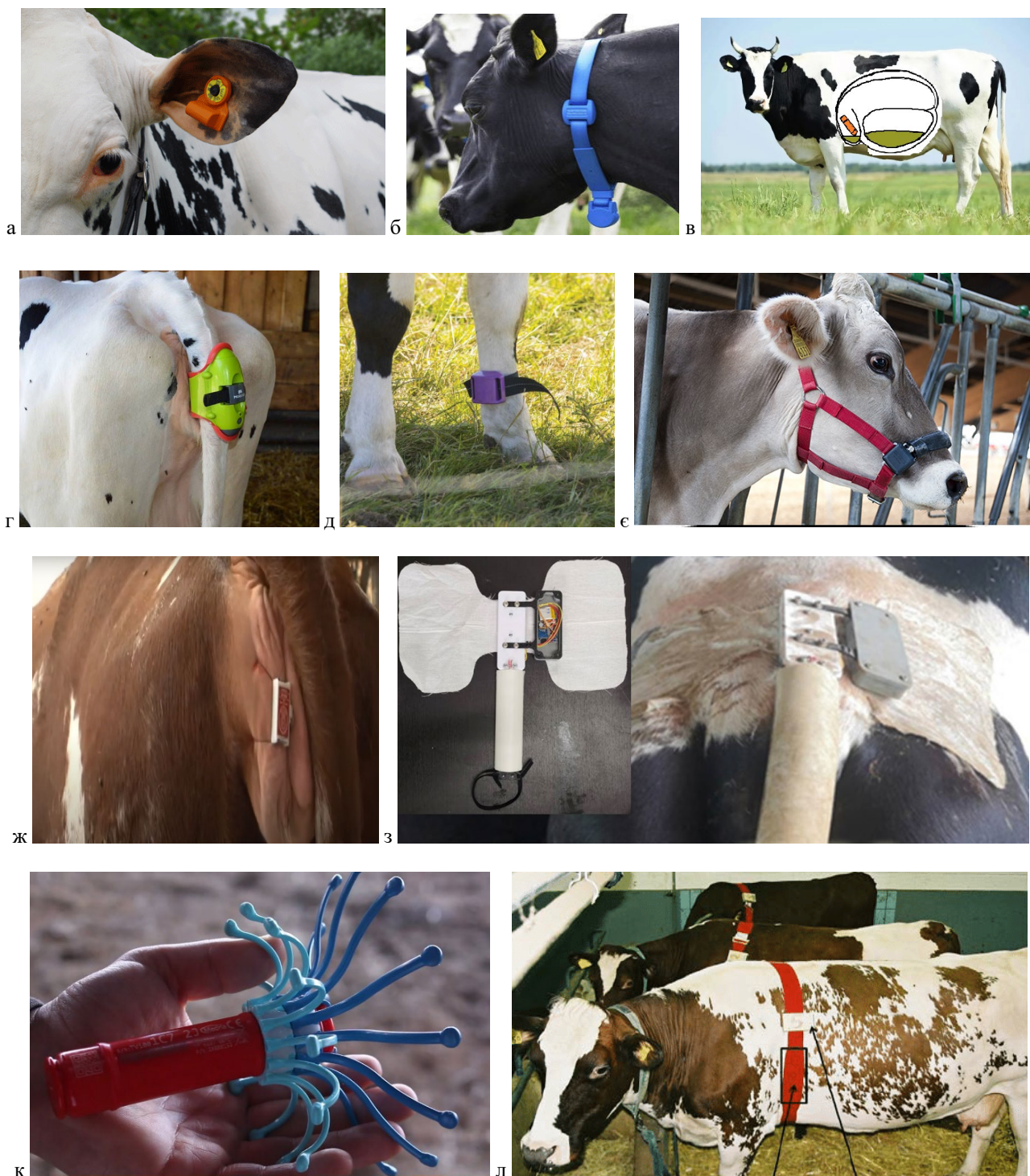


Рис. 2. Фото встановлених блоків датчиків:

- а) бирка вушна з датчиками; б) ошийник з датчиками; в) болус рубцевий; г) датчик на корені хвоста; д) педометр на кінцівці; е) недоуздок; ж) датчик на зовнішніх статевих органах; з) датчик на крижовій кістці; к) датчик вагінальний; л) датчик на грудній клітці

10. Тип машинного навчання Дерево рішень (DT): це модель, яка приймає рішення або робить прогноз на основі послідовного розгалуження умов. Кожен вузол і такій структурі відповідає певній характеристиці об'єкта, гілки показують можливі варіанти значень цієї характеристики, а кінцеві вузли (листки) відображають підсумковий результат або категорію. Перехід від початку дерева до одного

з його листків дозволяє визначити кінцеве рішення на основі вихідних даних [36].

11. Баєсова мережа (BN), також відома як мережа переконань або орієнтована ациклічна графова модель, є ймовірнісною графовою моделлю, яка представляє набір випадкових величин і їх умовні незалежності за допомогою орієнтованого ациклічного графа.

Це лише деякі приклади того, які види машинного навчання можуть бути застосовані у програмах контролю поведінки корів. Комбінацію різних методів та алгоритмів може бути використано для досягнення більш точного і ефективного контролю за стадом, підвищення його продуктивності та здоров'я. Але конкретизувати для якої системи контролю поведінки тварин, чи які типи машинного навчання прописані – неможливо, тому що це комерційна таємниця кожної компанії. Адже завдяки цим типам машинного навчання і алгоритмів аналізу інформації в електронному продукті залежить індивідуальність системи та її точність інтерпретації висновків аналізу з отриманих даних для точного визначення причин зміни поведінки тварин.

У світі, технологій, які фіксують і аналізують зміни поведінки тварин, є велика кількість систем контролю змін поведінки тварин. Так наприклад Van Nuffel та інші в своїй статті зробили

огляд комерційних валідованих сенсорних технологій, які можна використовувати для оцінки добробуту молочної худоби. Вони проаналізували 1111 публікацій з яких 42 дослідження описують 30 інструментів відповідали вимогам для зовнішньої перевірки [37]. Адже незалежні зовнішні перевірки свідчать про відкритість виробників автоматичних програм до критики та прагнуть вдосконалення своїх продуктів.

Ринок України представлений декількома різними системами контролю поведінки тварин таких як: AfiActII – педометри кріпиться на кінцівку, Heatime – ошийники, Moomonitor – ошийники, EcoHerd – педометри кріпиться на кінцівку, GEA CowScout – ошийники, DeLaval – ошийники, LELY – ошийники, COWMANAGER – вушні бирки. Також британськими вченими було проаналізовано більш детальноше вище перераховані програми, що представлено в *табл. 2* [38].

Таблиця 2

Порівняння основних характеристик систем контролю поведінки тварин представлених на ринку України

Назва	Дилер в Україні	Виробник	Відстань передачі даних антени	Термін служби батареї, років	Датчик у вигляді	Активність	Жуйка	Час прийому їжі	Час лежання	Місцезнаходження	Сповіщення системи про
Activity meter system	De-Laval	De-Laval	<200 м	<10	Ошийника	Так	Ні	Ні	Ні	Ні	Охота, здоров'я
Afi-Act II	YBT/Afimilk	Afi-milk	80 м – 200 м	5	Браслета на кінцівки	Так	Ні	Ні	Ні	Ні	Охота, отел
Cow Scout	GEA	Ne-dap	<1000 м	<10	Ошийника	Так	Так	Так	Так	Ні	Охота, здоров'я
Cow Manager	Прогресивні агротехнології Чуб	Agis	1000 м	<10	Вушної бирки	Так	Так	Так	Так	Так	Охота, здоров'я
Heatime Pro+	Агроконцепт	SCR	200 м – 500 м	8	Ошийника	Так	Так	Так	Ні	Ні	Охота, здоров'я
Moo Monitor +	Прогресивні агротехнології	Dairy Master	>1000 м	<10	Ошийника	Так	Так	Так	Ні	Ні	Охота, здоров'я
Qwes HR-LD	L-Україна/ Lely/ Прогресивні агротехнології	SCR	<500 м	8	Ошийника	Так	Так	Ні	Так	Ні	Охота, здоров'я

Системи контролю поведінки в своїй більшості інтерпретують інформацію у вигляді графіків, гістограм, лінійних чи колових діаграм (*рис. 3*), які показують зміну вимірюваної величини протягом вибраного проміжку часу, що дає можливість користувачеві

спостерігати динаміку змін вимірюваних показників. Відповідно до співвідношення зміни показників система робить висновки про причини виникнення даних змін та у формі сповіщень інформує спеціалістів господарства про це.

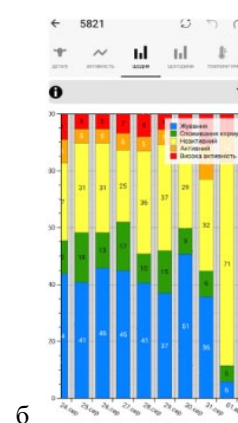
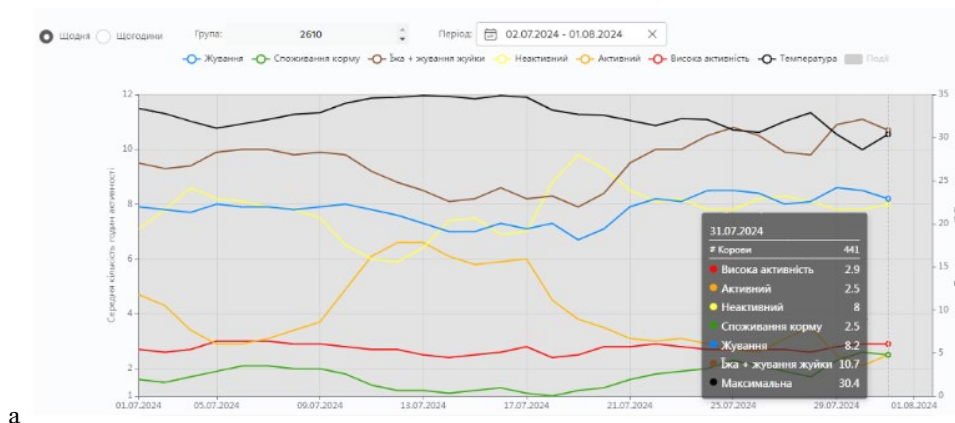


Рис. 3. Приклад діаграм: *а* – графіки; *б* – гістограми
Джерело: авторські зображення

Дані надходять на мобільний телефон, планшет чи ПК для оповіщення користувачів про виявлення змін у поведінці тварини та потребі в швидкому прийнятті відповідних рішень. Завдяки унікальним алгоритмам, які адаптуються до індивідуального ритму життя тварини (система адаптується протягом 1-3 тижнів) системи здебільшого дають точні сповіщення про:

- наявну хворобу в тварини (кетоз, хвороби кінцівок, мастит та інші) [39, 40];
- початок охоти [41, 42, 43];
- оптимальний час осіменіння [44–47];
- зниження жуйки і споживання корму [48–50];
- час отелення [51–55];
- сповіщення про температурний стрес [56–60];
- зміна температури тіла [61, 62];
- зміна в поведінці в транзитний період [62, 63];
- групові стреси.

Для ефективного і прибуткового скотарства мабуть найважливіший для фермерів інформаційний розділ – це фертильність, який вимірює та сповіщає про охоту, точний час осіменіння та можливий аборт. Система фіксує зміни в поведінці тварин, що характерні для тварин в стані охоти [64–66], і сповіщає спеціалістів про потребу в штучному осіменінні даної тварини. А інформація про точний час введення сперми [67–69], суттєво підвищує відсоток тільних тварин [70–72], у старіших корів навіть збільшується відсоток народження двійні [73]. Як відомо, ефективність осіменіння залежить від часу овуляції [74, 75].

Тому на ефективну заміну візуального виявлення охоти (відповідно до джерел ефективність якого 44,9 %) [76], приходять автоматизовані системи. Дослідження показують, що надійність систем визначення охоти досить висока та заслуговує на довіру [77–80], особливо за умови зниження проявів ознак охоти у самок ВРХ за останнє півстоліття [81]. Крім того, останніми роками продуктивність молочних корів збільшується [82], що негативно впливає на інтенсивність прояву охоти, як візуальним методом виявлення, так і на шанси виявлення передовулярної фази тварин системою визначення активності (наприклад, корови, які продукують на 10 літрів молока менше, ніж такі самі тварини, мали вищі показники на 67 % виявлення, ніж більш продуктивні корови) [83]. Також фермери мало звертають увагу на позитивні (POS FertBV) або негативні (NEG FertBV) генетичні властивості фертильності ВРХ, хоча було встановлено зв'язок між цими генетичними показниками, так в (POS FertBV) мають більш тривалий період охоти та проявляють більше активності під час охоти проти (NEG FertBV) [84]. При розведенні корів фактор (POS FertBV) досить суттєво та позитивно вплинув на запліднення стада. Адже встановлено, що тварини з більшою активністю в період охоти мають більший відсоток запліднення, ніж тварини з меншою активністю [85].

Сьогодні більшість фермерів використовують візуальний метод визначення тварин в охоті [86], візуальний з маркуванням кореня хвоста [87], схеми синхронізації [88], використання бугаїв-пробників,

але усі ці методи потребують досить багато часу, коштів та мають велику залежність від людського фактору [89]. Є також повідомлення про використання комбінованих методів виявлення охоти, візуальний метод з автоматичними системами виявлення охоти [90], схеми синхронізації поєднують з автоматичними системами виявлення охоти, а результати даного досвіду є досить позитивними в одних дослідженнях [91], але в інших великої різниці не виявили [92]. Досить хороші результати показали системи виявлення охоти в процесі пересадки ембріонів [93]. Є ще один факт, на який потрібно зважати фермерам при виборі стратегії, як показує опитування споживачів молока, з яких 65 % негативно ставляться до застосування гормональних препаратів для підвищення фертильності тварин [94].

Тому, наприклад, в Канаді на прийняття рішення по встановленню автоматичних систем виявлення охоти в господарстві на першому місці стоїть бажання покращити продуктивність стада, на другому – зменшення часу на виявлення охоти і на третьому – час спостереження за здоров'ям та охотою тварин [95]. Але кожен фермер сам визначає цілі та вибирає свою стратегію відтворення тварин [96].

Можна виділити ще одну дуже важливу функцію деяких систем контролю поведінки тварин – сповіщення про можливий аборт [97]. Економічно важливо швидко виявити абортвану тварину для профілактичних і лікувальних заходів, направлених на відновлення продуктивної функції, для штучного осіменіння та запобігання пов'язаних з абортom ускладнень [98]. Але деякі системи, як пedometri на кінцівці, можуть сповіщати про високу активність вагітних тварин (стан охоти, який можна інтерпретувати як аборт) при цьому тварини зберігають стан вагітності, і дані сповіщення не пов'язані з абортom [99]. Тому доцільно кожне таке сповіщення перевіряти шляхом огляду стану тварини на наявність ознак охоти [100] чи за допомогою ультразвукової діагностики [101].

У розділі здоров'я сповіщення про стан хвороби тварини мають вагомий вплив [102], знижуючи витрату часу спеціалістів на обхід стада для визначення хворих тварин та дає можливість виявити хворих тварин за декілька днів до прояву клінічних ознак. Таким чином, автоматичні системи контролю змін поведінки тварин дають можливість зменшити використання антибіотиків та перевитрати коштів на лікування за рахунок недопущення переходу хвороб тварин у хронічну форму або тяжкий стан. Так, раннє виявлення і лікування ендометритів, чи хвороб кінцівок позитивно впливає на відсоток тільних від осіменених [103]. Наприклад, мастит має вплив на зменшення часу лежання тварин, споживання корму і активність [104], не кажучи про прямий негативний вплив на молочну залозу та негативний економічний ефект для господарства. Більшість голландських фермерів, після опитування, вказують, що сенсорні системи частіше використовуються для визначення захворюваності корів на мастит та виявлення охоти [105, 106]. Відомо, що не лише мастит має негативний вплив на фертильність, а й інші хвороби такі. Зокрема, хвороби кінцівок також

негативно впливають на запліднювальну здатність [107], продуктивність, прояви охоти [108], тому раннє визначення захворюваності автоматичними системами має важливий вплив на економічні показники господарства [109]. Зважаючи на те, що майже усі хвороби у господарствах визначають візуально і після прояву клінічних ознак автоматичне виявлення хворих зменшує час спеціалістів на пошуки і збільшує час, присвячений саме лікуванню хворих тварин [110].

Окремо можна виділити наявність графіків споживання корму і жуйки тварини в порівнянні з такими ж показниками групи в період сухостою та декілька тижнів після отелу, що дають розуміння про стан тварини в транзитний період. Так дивлячись на останні дослідження науковців, за якими, відомо, що хворі тварини мають менший час жування на відміну від здорових тварин в доотельний і післяотельний період [111]. Також моніторинг жуйки дає можливість провести раннє лікування і завчасно попередити можливі ускладнення підчас родів і післяродовий період. У зв'язку з тим, що фізіологічна адаптація до метаболічних процесів у корів після родів починається дородовий період і, в основному регулюється цитокінами, білками гострої фази та енергетичними метаболітами [112], тому контроль за транзитним періодом є надважливим як для корів, так і для телят. Встановлено, що у корів зі зниженим споживанням корму частіше виявляють затримку посліду, зниження маси тіла та зменшення продуктивності [113]. Наприклад, аналіз даних з ферм Ірану в 2018 році показав, що народження мертвого теля веде до втрати фінансів у розмірі 938 доларів США на тварину [114]. Корови голштинської породи, які мали аборти і мертвороди, знизили надій молока після 305 доби лактації (на 14,5% у порівнянні з контрольною групою), довший міжотельний інтервал та дні неплідності [115].

Відображення дати, часу отелу є досить корисною функцією автоматичних систем контролю змін поведінки тварин, яка дає можливість завчасно підготуватися до отелу [116]. Система визначає початок отелу аналізуючи профілі тривалості жуйки і активності і, на основі програмних алгоритмів [117]. Відомо, що активність тварин збільшується за 24 години до отелу [118], а час лежання зменшується [119]. Хоча деякі системи мають можливість визначати температуру тіла, яка також слугує як додатковий показник для визначення процесу родів [120].

Важливість визначення часу отелу дає можливість вчасно надати рододопомогу [121] і запобігти мертворожденню плода, що в свою чергу підвищує ризик виникнення затримки плодових оболонок, клінічного метриту [122] і, відповідно, фінансових втрат. Адже підраховано, що 75 % хвороб відбувається в корів після родів [123], тому контрольований процес отелу відіграє важливу роль в подальшій життєдіяльності тварин.

Ще одним розділом, який заслуговує на увагу, є сповіщення про стресовий стан тварин, що базується на показниках споживання корму, активності,

жування та температурі тіла тварини [124]. Так, наприклад, стан теплового стресу, від якого страждають тварини, має негативний вплив на споживання корму, час жуйки [125], продуктивність, зміну метаболічних процесів, у сухостійних тварин зниження росту молочної залози, порушення імунітету [126] та здоров'я молодняку. Тому розуміння самопочуття тварин відіграє важливу роль в управлінні стадом та розумінні коректної роботи системи вентиляції в регулюванні температури та вологості в приміщеннях. Підвищене співвідношення температури і вологості мають дуже негативний вплив на продуктивність та життєдіяльність корів [127]. Поряд з тепловим стресом не менш важливий вплив має знижений час лежання (за норми >12 годин [128]), що негативно впливає на продуктивність [129] та здоров'я кінцівок. Стрес, який виникає після зменшення часу лежання, свідчить про переповнення загонів або використання малої кількості чи не відповідного виду підстилки. Інформація про кормові стреси є ключем до аналізу кормової поведінки тварин, що показує вплив факторів зовнішнього середовища [130], раціонів [131], технологічних процесів, захворювань [132], фізіологічного стану [133] та іншого на споживання корму та жуйку.

Сповіщення про стресовий стан є інформаційним інструментом для менеджменту і дає менеджерам можливість ефективно керувати господарством [134].

Зібрані дані і сповіщення консолідуються в звіти і вся ця інформація використовуються менеджерами ферм для аналізу проблем та покращення управління, виробництва, відтворення, добробуту, здоров'я [135], зменшення витрат та робочого часу [136].

Висновки

Метою даної публікації є огляд основних технологій з описом принципів роботи і доступною технічною характеристикою, які використовуються для виявлення і сповіщень про охоту, отелення, споживання корму і наявності хвороби у молочної худоби. Провівши короткий аналіз даних ринку України, можна зробити висновок, що є достатня кількість автоматизованих систем контролю змін поведінки тварин для потреб спеціалістів та власників господарств. Але кожен фермер обирає систему контролю поведінки спираючись на потреби та стратегію свого господарства.

Взявши до уваги досвід досліджень, інформаційні повідомлення, відгуки користувачів, доступні для загалу характеристики, система контролю змін поведінки компанії COWMANAGER представлена вушною биркою що визначає найбільшу кількість показників, перевірена на валідність декількома внутрішніми та зовнішніми джерелами, має функції обміну даними з системами управління стадом, контролем селекційною брамою, гаджет для визначення місця положення тварини або групи тварин в господарстві, сповіщення, звіти, графіки має перевагу над іншими системами.

Перспективи подальших досліджень. Для глибшого аналізу потрібно провести ще низку теоретичних та емпіричних досліджень. Дослідження

автоматичних систем контролю змін поведінки тварин в Україні досить широко не проводилися тому дані дослідження будуть перспективними як для наукового світу (вивчення валідності, взаємозв'язків між показниками навколишнього середовища та зміною поведінки тварини) так і для практичного застосування (контроль та поліпшення фертильності, здоров'я та годівлі тварин, покращення контролю виконання регламентів працівниками, розуміння потреб тварин).

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Dayoub, M., Shnaigat, S., Tarawneh, R. A., Al-Yacoub, A. N., Al-Barakeh, F., & Al-Najjar, K. (2024). Enhancing animal production through smart agriculture: possibilities, hurdles, resolutions, and advantages. *Ruminants*, 4 (1), 22–46. <https://doi.org/10.3390/ruminants4010003>
- Kassahun, A., Bloo, R., Catal, C., & Mishra, A. (2022). Dairy farm management information systems. *Electronics*, 11 (2), 239. <https://doi.org/10.3390/electronics11020239>
- Galvão, K. N., Federico, P., De Vries, A., & Schuenemann, G. M. (2013). Economic comparison of reproductive programs for dairy herds using estrus detection, timed artificial insemination, or a combination. *Journal of Dairy Science*, 96 (4), 2681–2693. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5982>
- Steenefeld, W., Hogeveen, H., & Lansink, A. O. (2015). Economic consequences of investing in sensor systems on dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.006>
- McDougall, S., Heuer, C., Morton, J., & Brownlie, T. (2014). Use of herd management programmes to improve the reproductive performance of dairy cattle. *Animal*, 8, 199–210. <https://doi.org/10.1017/s1751731114000457>
- Ruviaro, C. F., de Leis, C. M., Florindo, T. J., de Medeiros Florindo, G. I. B., da Costa, J. S., Tang, W. Z., Pinto, A. T., & Soares, S. R. (2020). Life cycle cost analysis of dairy production systems in Southern Brazil. *Science of The Total Environment*, 741, 140273. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140273>
- Fodor, I., Abonyi-Tóth, Zs., & Ózsvári, L. (2018). Management practices associated with reproductive performance in Holstein cows on large commercial dairy farms. *Animal*, 12 (11), 2401–2406. <https://doi.org/10.1017/s1751731118000101>
- Haan, Mathew M. (2023). Choosing an Activity System for Your Dairy. *Pennsylvania State University*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/choosing-an-activity-system-for-your-dairy>
- Van Nuffel, A., Zwervtvaegher, I., Van Weyenberg, S., Pastell, M., Thorup, V., Bahr, C., Sonck, B., & Saeys, W. (2015). Lameness detection in dairy cows: Part 2. Use of sensors to automatically register changes in locomotion or behavior. *Animals*, 5 (3), 861–885. <https://doi.org/10.3390/ani5030388>
- Cabezas, J., Yubero, R., Visitación, B., Navarro-García, J., Algar, M. J., Cano, E. L., & Ortega, F. (2022). Analysis of accelerometer and GPS data for cattle behaviour identification and anomalous events detection. *Entropy*, 24 (3), 336. <https://doi.org/10.3390/e24030336>
- Džermeikaitė, K., Bačėninaitė, D., & Antanaitis, R. (2023). Innovations in cattle farming: application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. *Animals*, 13 (5), 780. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>
- Dairy Farm Management (2017). Training package for Dairy Extension workers. Developed with Dairy Training Centre. Retrieved from: https://a-story-blok.com/f/191310/5464089c69/dairy_farm_management_training_manual_and_guideline.pdf
- Grinter, L. N., Campler, M. R., & Costa, J. H. C. (2019). Validation of a behavior-monitoring collar's precision and accuracy to measure rumination, feeding, and resting time of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (4), 3487–3494. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15563>
- Büchel, S., & Sundrum, A. (2014). Decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. *Journal of Dairy Science*, 97 (5), 3120–3127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7613>
- Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 96 (4), 1928–1952. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>
- Neethirajan, S. (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
- Saint-Dizier, M., & Chastant-Maillard, S. (2018). Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Theriogenology*, 112, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.033>
- Kurras, F., & Jakob, M. (2024). Smart Dairy Farming – The potential of the automatic monitoring of dairy cows' behaviour using a 360-Degree Camera. *Animals*, 14 (4), 640. <https://doi.org/10.3390/ani14040640>
- Ren, K., Bernes, G., Hetta, M., & Karlsson, J. (2021). Tracking and analysing social interactions in dairy cattle with real-time locating system and machine learning. *Journal of Systems Architecture*, 116, 102139. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102139>
- Bikker, J. P., Van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., Van Meurs, K., Griffioen, G. M., & Dijkstra, J. (2014). Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*, 97 (5), 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
- Giordano, J. O., Sitko, E. M., Rial, C., Pérez, M. M., & Granados, G. E. (2022). Symposium review: Use of multiple biological, management, and performance data for the design of targeted reproductive management strategies for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105 (5), 4669–4678. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21476>
- Santos, C. A. D., Landim, N. M. D., Araújo, H. X. D., & Paim, T. D. P. (2022). Automated systems for estrous and calving detection in dairy cattle. *AgriEngineering*, 4 (2), 475–482. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4020031>
- Kovalenko, A. (2024). Application of IOT protocols in surface water pollution monitoring systems. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3 (23), 85–96. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.23.8596>
- Helwatkar, A., Riordan, D., & Walsh, J. (2014). Sensor technology for animal health monitoring. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 7 (5), 1–6. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2019-057>
- Schilkowsky, E. M., Granados, G. E., Sitko, E. M., Masello, M., Perez, M. M., & Giordano, J. O. (2021). Evaluation and characterization of estrus alerts and behavioral parameters generated by an ear-attached accelerometer-based system for automated detection of estrus. *Journal of Dairy Science*, 104 (5), 6222–6237. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19667>
- Titler, M., Maquivar, M. G., Bas, S., Rajala-Schultz, P. J., Gordon, E., McCullough, K., Federico, P., & Schuenemann, G. M. (2015). Prediction of parturition in Holstein dairy cattle using electronic data loggers. *Journal of Dairy Science*, 98 (8), 5304–5312. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9223>
- Curti, P. D. F., Selli, A., Pinto, D. L., Merlos-Ruiz, A., Balieiro, J. C. D. C., & Ventura, R. V. (2023). Applications of livestock monitoring devices and machine learning algorithms in animal production and reproduction: an overview. *Animal Reproduction*, 20 (2), e20230077. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0077>
- Vicentini, R. R., Oliveira, A. P., Veroneze, R., Montanholi, Y. R., Lima, M. L. P., Ujita, A., Alves, S. F., de Lima, A. C. N., & El Faro, L. (2018). Reticulo-rumen temperature as a predictor of estrus in dairy Gir heifers. *ICAR Technical Series*, 245–249.
- Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. (2016). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science*, 99 (9), 7395–7410. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11352>
- Maw, S. Z., Zin, T. T., Tin, P., Kobayashi, I., & Horii, Y. (2021). An absorbing Markov chain model to predict dairy cow calving time. *Sensors*, 21 (19), 6490. <https://doi.org/10.3390/s21196490>
- Sauls, J. A., Voelz, B. E., Hill, S. L., Mendonça, L. G. D., & Stevenson, J. S. (2017). Increasing estrus expression in the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 100 (1), 807–820. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11519>

32. Saint-Dizier, M., & Chastant-Maillard, S. (2015). Methods and on-farm devices to predict calving time in cattle. *The Veterinary Journal*, 205 (3), 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.05.006>
33. Crociati, M., Sylla, L., De Vincenzi, A., Stradaoli, G., & Monaci, M. (2022). How to predict parturition in cattle? A literature review of automatic devices and technologies for remote monitoring and calving prediction. *Animals*, 12 (3), 405. <https://doi.org/10.3390/ani12030405>
34. Borchers, M. R., Chang, Y. M., Proudfoot, K. L., Wadsworth, B. A., Stone, A. E., & Bewley, J. M. (2017). Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100 (7), 5664–5674. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11526>
35. Swamy, P. (2021). Calving monitoring with vision camera system using deep learning algorithm. *Uppsala Universitet*. Retrieved from: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1632786/FULLTEXT01.pdf>
36. Shahinfar, S., Page, D., Guenther, J., Cabrera, V., Fricke, P., & Weigel, K. (2014). Prediction of insemination outcomes in Holstein dairy cattle using alternative machine learning algorithms. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 731–742. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6693>
37. Stygar, A. H., Gómez, Y., Berteselli, G. V., Dalla Costa, E., Canali, E., Niemi, J. K., Llonch, P., & Pastell, M. (2021). A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.634338>
38. Data Driven Dairy Decisions for Farmers (4D4F) thematic network. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/news/data-driven-dairy-decisions-farmers-4d4f-thematic-network.html>
39. Thammacharoen, S., Semsirboon, S., Chanpongsang, S., Chaiyabutr, N., Panyasomboonying, P., Khundamrongkul, P., Puchongmart, P., & Wichachai, W. (2021). Seasonal effect of milk yield and blood metabolites in relation to ketosis of dairy cows fed under a high ambient temperature. *Veterinary World*, 2392–2396. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2392-2396>
40. Alsaad, M., Römer, C., Kleinmanns, J., Hendriksen, K., Rose-Meierhöfer, S., Plümer, L., & Büscher, W. (2012). Electronic detection of lameness in dairy cows through measuring pedometric activity and lying behavior. *Applied Animal Behaviour Science*, 142 (3–4), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.10.001>
41. Chanvallon, A., Coyral-Castel, S., Gatien, J., Lamy, J.-M., Ribaud, D., Allain, C., Clément, P., & Salvetti, P. (2014). Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. *Theriogenology*, 82 (5), 734–741. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.010>
42. Mottram, T. (2016). Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*, 10 (10), 1575–1584. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002517>
43. Arago, N. M., Chris I., Angelita, G., Charl, G., Nicole, E., Rodney, R., Timothy, M., Romeo, Jr., August, C., Jessica, S., & Lean, K. (2020). Automated estrus detection for dairy cattle through neural networks and bounding box corner analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11 (9). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110935>
44. Stevenson, J. S., Hill, S. L., Nebel, R. L., & DeJarnette, J. M. (2014). Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97 (7), 4296–4308. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7873>
45. Burnett, T. A., Polsky, L., Kaur, M., & Cerri, R. L. (2018). Effect of estrous expression on timing and failure of ovulation of Holstein dairy cows using automated activity monitors. *Journal of dairy Science*, 101 (12), 11310–11320. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15151>
46. Haan, M. M. (2022). Using activity systems to identify optimum breeding time. *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/using-activity-systems-to-identify-optimum-breeding-time>
47. Bombardelli, G. D., Soares, H. F., & Chebel, R. C. (2016). Time of insemination relative to reaching activity threshold is associated with pregnancy risk when using sex-sorted semen for lactating Jersey cows. *Theriogenology*, 85 (3), 533–539. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.042>
48. Domingues, R. R., Ginther, O. J., Toledo, M. Z., & Wiltbank, M. C. (2020). Increased dietary energy alters follicle dynamics and wave patterns in heifers. *Reproduction*, 160 (6), 943–953. <https://doi.org/10.1530/REP-20-0362>
49. Reith, S., Pries, M., Verhulsdonk, C., Brandt, H., & Hoy, S. (2014). Influence of estrus on dry matter intake, water intake and BW of dairy cows. *Animal*, 8 (5), 748–753. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000494>
50. Clement, P., Guatteo, R., Delaby, L., Rouille, B., Chanvallon, A., Philipot, J. M., & Bareille, N. (2014). Added value of rumination time for the prediction of dry matter intake in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97 (10), 6531–6535. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7860>
51. Pahl, C., Hartung, E., Grothmann, A., Mahlkow-Nerge, K., & Haeussermann, A. (2014). Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving. *Journal of Dairy Science*, 97 (11), 6935–6941. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8194>
52. Hofstra, G., Roelofs, J., Rutter, S. M., van Erp-van der Kooij, E., & de Vlieg, J. (2022). Mapping welfare: location determining techniques and their potential for managing cattle welfare – A review. *Dairy*, 3 (4), 776–788. <https://doi.org/10.3390/dairy3040053>
53. Giarretta, E., Marliani, G., Postiglione, G., Magazzù, G., Pantò, F., Mari, G., Formigoni, A., Accorsi, P. A., & Mordenti, A. (2021). Calving time identified by the automatic detection of tail movements and rumination time, and observation of cow behavioural changes. *Animal*, 15 (1), 100071. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100071>
54. Matamala, F., Strappini, A., & Sepúlveda-Varas, P. (2021). Dairy cow behaviour around calving: Its relationship with management practices and environmental conditions. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 53 (1), 9–22. <https://doi.org/10.4067/s0719-81322021000100009>
55. Bikker, J. P., Van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., Van Meurs, K., Griffioen, G. M., & Dijkstra, J. (2014). Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*, 97 (5), 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
56. Schüller, L. K., Burfeind, O., & Heuwieser, W. (2014). Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, 81 (8), 1050–1057. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.029>
57. Schüller, L. K., Burfeind, O., & Heuwieser, W. (2016). Effect of short- and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 2996–3002. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10080>
58. Jordan, E. R. (2003). Effects of heat stress on reproduction. *Journal of Dairy Science*, 86, E104–E114. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)74043-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)74043-0)
59. Gao, S. T., Guo, J., Quan, S. Y., Nan, X. M., Fernandez, M. S., Baumgard, L. H., & Bu, D. P. (2017). The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of dairy Science*, 100 (6), 5040–5049. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11913>
60. Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., & Phillips, C. J. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11 (1), 71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
61. Polsky, L. B., Madureira, A. M., Drago Filho, E. L., Soriano, S., Sica, A. F., Vasconcelos, J. L., & Cerri, R. L. (2017). Association between ambient temperature and humidity, vaginal temperature, and automatic activity monitoring on induced estrus in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (10), 8590–8601. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12656>
62. Kovács, L., Kézér, F. L., Ruff, F., & Szenci, O. (2017). Rumination time and reticulorumenal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (2), 1568–1579. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11884>
63. Black, R. A., & Krawczel, P. D. (2016). A case study of behaviour and performance of confined or pastured cows during the dry period. *Animals*, 6 (7), 41. <https://doi.org/10.3390/ani6070041>
64. Britt, J. H., Scott, R. G., Armstrong, J. D., & Whitacre, M. D. (1986). Determinants of estrous behavior in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 69 (8), 2195–2202. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80653-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80653-1)
65. Fricke, P. M., Carvalho, P. D., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes, G., & Amundson, M. C. (2014). Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. *Animal*, 8 (s1), 134–143. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000299>

66. Pereira, M. H. C., Wiltbank, M. C., & Vasconcelos, J. L. M. (2016). Expression of estrus improves fertility and decreases pregnancy losses in lactating dairy cows that receive artificial insemination or embryo transfer. *Journal of Dairy Science*, 99 (3), 2237–2247. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9903>
67. Sandeen, A. (2022). Timing of insemination for dairy cattle. *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/timing-of-insemination-for-dairy-cattle>
68. Dalton, J. C. (2011). Strategies for success in heat detection and artificial insemination. *WCDS Advances in Dairy Technology*, 23, 215–229. Retrieved from: https://wcds.ualberta.ca/wcfs/wp-content/uploads/sites/57/wcfs_archive/Archive/2011/Manuscripts/Dalton.pdf
69. Denis-Robichaud, J., LeBlanc, S. J., Jones-Bitton, A., Silper, B. F., & Aoki Cerri, R. L. (2018). Pilot study to evaluate the association between the length of the luteal phase and estrous activity detected by automated activity monitoring in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 210. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00210>
70. LeRoy, C. N. S., Walton, J. S., & LeBlanc, S. J. (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101 (2), 1638–1647. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13505>
71. Aungier, S. P. M., Roche, J. F., Duffy, P., Scully, S., & Crowe, M. A. (2015). The relationship between activity clusters detected by an automatic activity monitor and endocrine changes during the peri-estrous period in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98 (3), 1666–1684. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7405>
72. Tippenhauer, C. M., Plenio, J. L., Madureira, A. M. L., Cerri, R. L. A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2021). Timing of artificial insemination using fresh or frozen semen after automated activity monitoring of estrus in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104 (3), 3585–3595. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19278>
73. Macmillan, K., Kastelic, J. P., & Colazo, M. G. (2018). Update on multiple ovulations in dairy cattle. *Animals*, 8 (5), 62. <https://doi.org/10.3390/ani8050062>
74. Ovulation in Dairy Cows. (2021). *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/ovulation-in-dairy-cows>
75. Sandeen, A. (2023). Cyclicity in dairy cows: Defining the issue. *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/cyclicity-in-dairy-cows-defining-the-issue>
76. Ismael, A., Strandberg, E., Kargo, M., Fogh, A., & Løvendahl, P. (2015). Estrus traits derived from activity measurements are heritable and closely related to the time from calving to first insemination. *Journal of Dairy Science*, 98 (5), 3470–3477. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8940>
77. Madureira, A. M. L., Polsky, L. B., Burnett, T. A., Silper, B. F., Soriano, S., Sica, A. F., Pohler, K. G., Vasconcelos, J. L. M., & Cerri, R. L. A. (2019). Intensity of estrus following an estradiol-progesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. *Journal of Dairy Science*, 102 (4), 3598–3608. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15129>
78. Silper, B. F., Madureira, A. M. L., Polsky, L. B., Soriano, S., Sica, A. F., Vasconcelos, J. L. M., & Cerri, R. L. A. (2017). Daily lying behavior of lactating Holstein cows during an estrus synchronization protocol and its associations with fertility. *Journal of Dairy Science*, 100 (10), 8484–8495. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12160>
79. Dolecheck, K. A., Silvia, W. J., Heersche, G., Chang, Y. M., Ray, D. L., Stone, A. E., Wadsworth, B. A., & Bewley, J. M. (2015). Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. *Journal of Dairy Science*, 98 (12), 8723–8731. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9645>
80. Silper, B. F., Madureira, A. M. L., Kaur, M., Burnett, T. A., & Cerri, R. L. A. (2015). Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. *Journal of Dairy Science*, 98 (5), 3158–3165. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9185>
81. Woelders, H., Van der Lende, T., Kommadath, A., Te Pas, M. F. W., Smits, M. A., & Kaal, L. M. T. E. (2014). Central genomic regulation of the expression of oestrous behaviour in dairy cows: a review. *Animal*, 8 (5), 754–764. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000342>
82. Gross, J. J. (2023). Dairy cow physiology and production limits. *Animal Frontiers*, 13 (3), 44–50. <https://doi.org/10.1093/af/vfad014>
83. Aungier, S. P. M., Roche, J. F., Sheehy, M., & Crowe, M. A. (2012). Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95 (5), 2452–2466. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4653>
84. Reed, C. B., Kuhn-Sherlock, B., Burke, C. R., & Meier, S. (2022). Estrous activity in lactating cows with divergent genetic merit for fertility traits. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1674–1686. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20811>
85. Madureira, A. M. L., Silper, B. F., Burnett, T. A., Polsky, L., Cruppe, L. H., Veira, D. M., Vasconcelos, J. L. M., & Cerri, R. L. A. (2015). Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98 (10), 7003–7014. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9672>
86. Denis-Robichaud, J. (2016). Assessment of automated activity monitors for managing reproduction in dairy cows. *Doctor of Philosophy thesis*. Guelph, University of Guelph. Retrieved from: <https://atrium.lib.uoguelph.ca/bitstreams/a90de64b-194e-4385-8464-4e99b08263cb/download>
87. Denis-Robichaud, J., Cerri, R. L. A., Jones-Bitton, A., & LeBlanc, S. J. (2016). Survey of reproduction management on Canadian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 99 (11), 9339–9351. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11445>
88. Crespilho, A. M., Papa, F. O., Santos, M. D. P., & Sa Filho, M. D. (2012). Use of cooled bull semen as a strategy to increase the pregnancy rate in fixed-time artificial insemination programs-case report. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 7 (4), 175–179. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2012.175.179>
89. O'Connor, M. L. (2022). Systematic Breeding Programs. *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/predicting-calving-time-what-are-your-options>
90. Monteiro, A. P. A., Tao, S., Thompson, I. M. T., & Dahl, G. E. (2016). In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*, 99 (10), 8443–8450. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11072>
91. Mayo, L. M., Silvia, W. J., Ray, D. L., Jones, B. W., Stone, A. E., Tsai, I. C., Clark, J. D., Bewley, J. M., & Heersche, G. (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (3), 2645–2656. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14738>
92. Schweinzer, V., Gusterer, E., Kanz, P., Krieger, S., Süß, D., Lidauer, L., Berger, A., Kicking, F., Öhlschuster, M., Auer, W., Drillich, M., & Iwersen, M. (2020). Comparison of behavioral patterns of dairy cows with natural estrus and induced ovulation detected by an ear-tag based accelerometer. *Theriogenology*, 157, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.050>
93. Pieper, L., Doherr, M. G., & Heuwieser, W. (2016). Consumers' attitudes about milk quality and fertilization methods in dairy cows in Germany. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 3162–3170. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10169>
94. Marques, O., Veronese, A., Merenda, V. R., Bisinotto, R. S., & Chebel, R. C. (2020). Effect of estrous detection strategy on pregnancy outcomes of lactating Holstein cows receiving artificial insemination and embryo transfer. *Journal of Dairy Science*, 103 (7), 6635–6646. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17892>
95. Neves, R. C., & LeBlanc, S. J. (2015). Reproductive management practices and performance of Canadian dairy herds using automated activity-monitoring systems. *Journal of Dairy Science*, 98 (4), 2801–2811. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8221>
96. Sandeen, A. (2017). Timing of insemination: Achieve optimal conception by working the averages. *Progressive Dairy*. Retrieved from: <https://www.agproud.com/articles/28024-timing-of-insemination-achieve-optimal-conception-by-working-the-averages>
97. Fernandez-Novo, A., Fargas, O., Loste, J. M., Sebastian, F., Perez-Villalobos, N., Pesantez-Pacheco, J. L., Patron-Collantes, R., & Astiz, S. (2020). Pregnancy Loss (28–110 days of pregnancy) in Holstein cows: A retrospective study. *Animals*, 10 (6), 925. <https://doi.org/10.3390/ani10060925>
98. Sharma, B., & Koundal, D. (2018). Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective. *IET Wireless Sensor Systems*, 8 (4), 143–151. <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2017.0060>

99. Chen, C. P. J., & Ferreira, G. (2023). Evaluation of walking activity data during pregnancy as an indicator of pregnancy loss in dairy cattle. *JDS Communications*, 4 (2), 166–168. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-0304>
100. Sandeen, Andrew (2022). Heat Detection with Cattle. *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/heat-detection-with-cattle>
101. Szenci, O. (2021). Recent possibilities for the diagnosis of early pregnancy and embryonic mortality in dairy cows. *Animals*, 11 (6), 1666. <https://doi.org/10.3390/ani11061666>
102. King, M. T. M., & DeVries, T. J. (2018). Graduate Student Literature Review: Detecting health disorders using data from automatic milking systems and associated technologies. *Journal of Dairy Science*, 101 (9), 8605–8614. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14521>
103. Barkema, H. W., von Keyserlingk, M. A. G., Kastelic, J. P., Lam, T. J. G. M., Luby, C., Roy, J.-P., LeBlanc, S. J., Keefe, G. P., & Kelton, D. F. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 98 (11), 7426–7445. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9377>
104. Fogsgaard, K. K., Bennedsgaard, T. W., & Herskin, M. S. (2015). Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 98 (3), 1730–1738. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8347>
105. Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2015). Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, 98 (1), 709–717. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8595>
106. Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of dairy science*, 98 (6), 4198–4205. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>
107. Burnett, T. A., Madureira, A. M., Silper, B. F., Fernandes, A. C. C., & Cerri, R. L. (2017). Integrating an automated activity monitor into an artificial insemination program and the associated risk factors affecting reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (6), 5005–5018. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12246>
108. Van Nuffel, A., Zwervagheer, I., Pluym, L., Van Weyenberg, S., Thorup, V., Pastell, M., Sonck, B., & Saeys, W. (2015). Lameness detection in dairy cows: Part 1. How to distinguish between non-lame and lame cows based on differences in locomotion or behavior. *Animals*, 5 (3), 838–860. <https://doi.org/10.3390/ani5030837>
109. Rasmussen, P., Barkema, H. W., Osei, P. P., Taylor, J., Shaw, A. P., Conrady, B., Chaters, G., Muñoz, V., Hall, D. C., Apenteng, O. O., Rushton, J., & Torgerson, P. R. (2024). Global losses due to dairy cattle diseases: A comorbidity-adjusted economic analysis. *Journal of Dairy Science*, 107 (9), 6945–6970. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24626>
110. Thorup, V. M., Munksgaard, L., Robert, P. E., Erhard, H. W., Thomsen, P. T., & Friggens, N. C. (2015). Lameness detection via leg-mounted accelerometers on dairy cows on four commercial farms. *Animal*, 9 (10), 1704–1712. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000890>
111. Calamari, L. U. I. G. I., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A., & Trevisi, E. (2014). Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science*, 97 (6), 3635–3647. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7709>
112. Wankhade, P. R., Manimaran, A., Kumaresan, A., Jeyakumar, S., Ramesha, K. P., Sejian, V., Rajendran, D., & Varghese, M. R. (2017). Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: A review. *Veterinary World*, 10 (11), 1367–1377. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1367-1377>
113. Dervishi, E., Zhang, G., Hailamariam, D., Dunn, S. M., & Ametaj, B. N. (2016). Occurrence of retained placenta is preceded by an inflammatory state and alterations of energy metabolism in transition dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0085-9>
114. Mahnani, A., Sadeghi-Sefidmazgi, A., & Keshavarzi, H. (2018). Performance and financial consequences of stillbirth in Holstein dairy cattle. *Animal*, 12 (3), 617–623. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002026>
115. El-Tarabany, M. S. (2015). Impact of stillbirth and abortion on the subsequent fertility and productivity of Holstein, Brown Swiss and their crosses in subtropics. *Tropical Animal Health and Production*, 47 (7), 1351–1356. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0870-z>
116. Barragan, A. A. (2023). Predicting Calving Time: What are Your Options? *Penn State Extension*. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/predicting-calving-time-what-are-your-options>
117. Clark, C. E. F., Lyons, N. A., Millapan, L., Talukder, S., Cronin, G. M., Kerrisk, K. L., & Garcia, S. C. (2015). Rumination and activity levels as predictors of calving for dairy cows. *Animal*, 9 (4), 691–695. <https://doi.org/10.1017/S1751731114003127>
118. Duncan, N. B., & Meyer, A. M. (2019). Locomotion behavior changes in peripartum beef cows and heifers. *Journal of Animal Science*, 97 (2), 509–520. <https://doi.org/10.1093/jas/sky448>
119. Szenci, O. (2017). Importance of Monitoring Calving to Decrease Stillbirth Rate in Holstein-Friesian Dairy Farms. *Scientific Papers-Animal Science Series: Lucrări Științifice – Seria Zootehnie*, 68, 3–11.
120. Ouellet, V., Vasseur, E., Heuwieser, W., Burfeind, O., Maldague, X., & Charbonneau, É. (2016). Evaluation of calving indicators measured by automated monitoring devices to predict the onset of calving in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99 (2), 1539–1548. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10057>
121. Calcante, A., Tangorra, F. M., Marchesi, G., & Lazzari, M. (2014). A GPS/GSM based birth alarm system for grazing cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.006>
122. Hendriks, S. J., Phyn, C. V. C., Turner, S.-A., Mueller, K. M., Kuhn-Sherlock, B., Donaghy, D. J., Huzzey, J. M., & Roche, J. R. (2019). Lying behavior and activity during the transition period of clinically healthy grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (8), 7371–7384. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16045>
123. Neave, H. W., Lomb, J., Von Keyserlingk, M. A. G., Behnam-Shabahang, A., & Weary, D. M. (2017). Parity differences in the behavior of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (1), 548–561. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10987>
124. Taylor, N. A., Tipton, M. J., & Kenny, G. P. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 46, 72–101. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.006>
125. Paudyal, S., Maunsell, F., Richeson, J., Risco, C., Donovan, A., & Pinedo, P. (2016). Peripartur ruminant dynamics and health status in cows calving in hot and cool seasons. *Journal of Dairy Science*, 99 (11), 9057–9068. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11203>
126. Dahl, G. E., Tao, S., & Monteiro, A. P. A. (2016). Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 3193–3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9990>
127. Habeeb, A. A., Gad, A. E., & Atta, M. A. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *International Journal of Biotechnology and Recent Advances*, 1 (1), 35–50. <https://doi.org/10.18689/ijbr-1000107>
128. Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Guarino, M. (2020). A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production?. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>
129. Tao, S., Rivas, R. M. O., Marins, T. N., Chen, Y. C., Gao, J., & Bernard, J. K. (2020). Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, 150, 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>
130. Abeni, F. (2022). Effects of extrinsic factors on some rumination patterns: A review. *Frontiers in Animal Science*, 3, 1047829. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1047829>
131. Leiber, F., Moser, F. N., Ammer, S., Probst, J. K., Baki, C., Spengler Neff, A., & Bieber, A. (2022). Relationships between dairy cows' chewing behavior with forage quality, progress of lactation and efficiency estimates under zero-concentrate feeding systems. *Agriculture*, 12 (10), 1570. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101570>
132. De Amicis, I., Veronesi, M. C., Robbe, D., Gloria, A., & Carluccio, A. (2018). Prevalence, causes, resolution and consequences of bovine dystocia in Italy. *Theriogenology*, 107, 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.11.001>
133. Brandstetter, V., Neubauer, V., Humer, E., Kröger, I., & Zebeli, Q. (2019). Chewing and drinking activity during transition period and lactation in dairy cows fed partial mixed rations. *Animals*, 9 (12), 1088. <https://doi.org/10.3390/ani9121088>

134. Vlaicu, P. A., Gras, M. A., Untea, A. E., Lefter, N. A., & Rotar, M. C. (2024). Advancing livestock technology: Intelligent Systemization for enhanced productivity, welfare, and sustainability. *AgriEngineering*, 6 (2), 1479–1496. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020084>
135. Shibasaki, T., Yamazaki, Y., & Tonooka, H. (2024). A System for Monitoring Animals Based on Behavioral Information and Internal State Information. *Animals*, 14 (2). <https://doi.org/10.3390/ani14020281>
136. Cornou, C., & Kristensen, A. R. (2013). Use of information from monitoring and decision support systems in pig production: Collection, applications and expected benefits. *Livestock Science*, 157 (2-3), 552–567. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.07.016>

ORCID

Yu. Slon  <https://orcid.org/0009-0004-8850-2183>
P. Skliarov  <https://orcid.org/0000-0002-4379-9583>



© 2025 Slon Yu. and Skliarov P. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.