**Солона О.В.**
к.т.н., доцент

***Вінницький національний аграрний університет***

**Лісовий Д.Р.**
технолог

***ТОВ «М'ясний майстер»***

**Solona O.**
Ph.D., Associate Professor

***Vinnytsia National Agrarian University***

**Lisovyi D.**
technologist

***LLC "Meat master"***

***УДК 636.089.2***
***DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-4***

# ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ ЗДОРОВ'Я ТВАРИН ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*Сільськогосподарські тварини, яких у світі налічується понад 70 мільярдів, все частіше утримуються на великих, інтенсивних фермах. Наразі не існує науково обґрунтованих «еталонів» для кількісної оцінки перехідних фізіологічних (афективних) станів у сільськогосподарських тварин, а також не існує встановлених показників, лише індикатори поганого стану, такі як травми, біль і страх. Традиційні підходи до моніторингу здоров'я тварин вимагають багато часу, переривають сільськогосподарські процеси і включають суб'єктивні судження. Дані біометричних датчиків, що підтримуються штучним інтелектом, є новим розумним рішенням для прихованого моніторингу тварин, але їхній потенціал для кількісної оцінки фізіологічних станів і новаторські рішення в їхньому застосуванні ще не реалізовані. У цьому огляді представлені інноваційні методи збору великих обсягів даних про стан сільськогосподарських тварин, які можуть бути використані для навчання моделей штучного інтелекту для класифікації кількісної оцінки та прогнозування фізіологічних станів сільськогосподарських тварин. Поширюючи це на груповий рівень, штучний інтелект може бути застосований для моделювання емоційної динаміки та зараження серед тварин. Моделі цифрових двійників відкривають нові підходи до моделювання поведінки та фізіологічного стану тварин, засновані на даних. Завдяки відображенню інформації та прогнозів цифрового двійника в інтуїтивно зрозумілій формі на інтерактивній панелі, доглядачі будуть краще поінформовані про своїх тварин, що дасть їм змогу швидко та ефективно реагувати, щоб зменшити біль та забезпечити добробут тварин. Подальші дослідження в цьому напрямку можуть спрямовуватися на розробку і вдосконалення алгоритмів аналізу даних та розширення спектру вимірюваних параметрів.*

***Ключові слова:*** *штучний інтелект, аграрний сектор, датчики, фізіологічний стан, моделювання поведінки, цифровий двійник.*

***Постановка проблеми.*** Зі збільшенням світового попиту на продукти тваринного походження, збільшуються розміри ферм та кількість тварин, за якими потрібно доглядати. Моніторинг та ефективне реагування на хвороби та стрес у тваринництві є викликом для фермерів, який постійно зростає і має вплив як на фізичну, так і на економічну сферу.

Оскільки фізіологічний стан тварини швидко реагує на стан та події у навколишньому середовищі, він є чутливим індикатором здоров'я тварини. Тому фермери, які краще поінформовані про фізіологічний стан своїх тварин, мають можливість швидше та ефективніше реагувати для збереження здоров'я тварин та зменшення втрат продуктивності та якості, спричинених хворобами та стресом. Проте, на сьогодні наша

здатність ідентифікувати, кількісно оцінювати та прогнозувати фізіологічні стани у тварин, особливо позитивні стани, обмежена [1].

Новим революційним підходом у тваринництві є використання технології біометричних датчиків у поєднанні з аналітикою великих даних для аналізу поведінки сільськогосподарських тварин. Наразі не розроблено жодної подібної системи для вимірювання та прогнозування фізіологічних станів сільськогосподарських тварин. Традиційні методи моніторингу сільськогосподарських тварин є трудомістким процесом та можуть проводитися лише епізодично і дають невеликі масиви даних, що ускладнює отримання точних висновків про поведінку та емоційний стан тварин. На противагу цьому, сенсори на тваринах, та датчики навколишнього середовища та кліматичні датчики дозволяють отримувати величезні масиви даних про фізичні, біологічні та біометричні параметри, які можна безперервно і одночасно отримувати від окремих тварин або цілих стад. Методи роботи з великими даними, такі як штучний інтелект (ШІ) і алгоритми машинного навчання (МН), забезпечують потужний автоматизований підхід до аналізу цих даних у режимі реального часу [2].

***Мета дослідження.*** Дослідження засобів прогнозування фізіологічного стану та поведінки сільськогосподарських тварин шляхом збору мультимодальних біометричних сенсорних даних.

***Результати дослідження.*** Розвиток сенсорних технологій обіцяє дати фермерам можливість використовувати миттєві зміни у фізіологічному стані тварин, тим самим підвищуючи їхній добробут та продуктивність. Різноманітні неінвазивні датчики використовуються на фермах для моніторингу фізичних, фізіологічних та емоційних станів сільськогосподарських тварин. Дослідження автоматизованої класифікації та вимірювання фізіологічних станів у людей призвели до розробки методів ШІ та МН придатних для аналізу даних таких як риси обличчя, голосу, ходи, постави, фізіологічних даних, теплових даних, активності. Нижче наведені ключові типи датчиків, що використовуються на фермах, аспекти емоційної поведінки, які вони вимірюють, і сучасні методи ШІ та МН для кількісної оцінки афективних станів на основі даних від кожного типу датчиків [3].

*Візуальні датчики - Риси та вираз обличчя.* За допомогою відеокамер можна відстежувати вираз обличчя або окремі риси обличчя такі як очі, вуха, ніс, щоки або щелепи. Було помічено, що рух і положення певних рис обличчя відображають певний емоційний стан сільськогосподарських тварин, наприклад, відхилені назад вуха вказують на страх у свиней [4].

На додаток до аналізу специфічних рис обличчя, вираз обличчя у тварин можна кількісно оцінити за допомогою системи кодування лицьових рухів (FACS - *англ. Facial Action Coding System*) в якій активність лицьових м'язів або груп м'язів оцінюється вручну для виявлення специфічних емоційних станів. FACS спочатку була розроблена для аналізу емоцій на людських обличчях, а потім була адаптована для розробки шкали міміки (Grimace Scales), яка дозволяє кількісно оцінити вираз обличчя, пов'язаний з болем у тварин, які проходять лікувальні процедури [5].

*Інфрачервоні камери - Температура тіла*. Інфрачервоні камери дозволяють вимірювати периферичну температуру всього тіла або окремих частин тіла тварини, яка пов’язана зі змінами фізіологічного стану та активності вегетативної нервової системи. Зниження периферичної температури певної частини тіла з подальшим підвищенням центральної температури може свідчити про зміну фізіологічного стану.

На сьогодні дослідження з використанням тепловізійних камер не повною мірою використовують потенціал автоматизованої обробки цих даних у режимі реального часу. Отже, існує потреба у застосуванні методів машинного навчання на основі зображень, таких як згорткові нейронні мережі для покращення чутливості, точності та швидкості визначення температурних показників сільськогосподарських тварин. Згорткова нейронна мережа (Convolutional Neural Network (CNN)) - це алгоритм глибокого навчання і клас штучних нейронних мереж, які зазвичай використовуються для аналізу зображень [6, 7].

*Мікрофони – Аналіз голосу*. Мікрофони, встановлені на фермі, можуть вловлювати і розрізняти голоси багатьох тварин одночасно, що робить його потужним інструментом для моніторингу фізіологічного стану тварин. Було виявлено, що голосові сигнали передають інформацію про фізіологічний стан у широкого спектру сільськогосподарських тварин, включаючи свиней, корів і курей. Голос часто є мимовільним, особливо при негативних фізіологічних станах, і тому є гарним індикатором [8].

*Датчики серцевого ритму - Частота серцевих скорочень і коливання серцевого ритму*. Зараз почали активно з'являтися переносні пристрої кардіо моніторингу для сільськогосподарських тварин, які можуть забезпечити безперервний моніторинг серцевого ритму за допомогою електрокардіографічного (електричного) або

фотоплетизмографічного (оптичним) методами. Частота серцевих скорочень та зміна інтервалів між ударами серця, відомих як варіабельність серцевого ритму (ВСР), є фізіологічними показниками, що відображає активність вегетативної нервової системи. Наприклад, у корів, які проходять стресову ветеринарну процедуру, спостерігається зниження ВСР, що супроводжується підвищенням рівня гормону кортизолу в плазмі крові та слині. Спроба безперервного збору даних про частоту серцевих скорочень і ВСР у корів і свиней за допомогою нового пластиру TNO Holst Centre 3в1 (рис. 1), який вимірює частоту серцевих скорочень, частоту дихання і рівень активності одночасно є проривом і відкриє можливості мультимодального збору даних [9].

**Рис. 1. Фото сенсора TNO Holst Centre 3в1 для вимірювання частоти серцевих скорочень, дихання та активності одночасно**

*Акселерометри - Переміщення тіла*. Акселерометри, вбудовані в натільні пристрої, прикріплені до тварин, дозволяють збирати дані, що відповідають тривимірним моделям руху тварини. Аналіз цих даних може дати цінну інформацію про поведінку, здоров'я та стан тварин. МН аналіз даних про активність широко застосовується для успішної ідентифікації специфічних станів захворювань у тварин, таких як кульгавість, а також для точного розмежування різних видів поведінки, таких як годівля, лежання, жуйка, стояння і ходьба у корів і овець [10].

*Респірометри - Частота дихання*. Швидкість або глибина дихання є індикатором змін емоційного стану, але на цей показник впливає багато факторів, включаючи рівень активності, надої, тільність, температура навколишнього середовища та патологічні стани. Таким чином, респіраторний аналіз найкраще працює в поєднанні з іншими фізіологічними показниками, особливо з частотою серцевих скорочень, враховуючи тісний взаємозв'язок між кровоносною та дихальною системами. Зазвичай для вимірювання частоти дихання у сільськогосподарських тварин використовують спостереження за рухами боків, але це дуже трудомісткий процес, який потребує багато часу. Для розв’язання цієї проблеми зараз використовуються електронні датчики частоти дихання [11].

Технології, які імітують людський інтелект, завдяки складним алгоритмам мають можливість отримувати та аналізувати дані, такі як: погодні та температурні умови, стан і склад води, може ідентифікувати поширені захворювання у тварин, в режимі реального часу.

Зі збільшенням інвестицій ферми отримають можливість автоматизувати процеси, зменшити основні витрати та поліпшити якість продуктів тваринництва, таких як м’ясо чи молочна продукція. Слід зазначити, що застосування штучного інтелекту у тваринництві є надзвичайно простим, адже всі дані та аналітика легко завантажуються до спеціального додатка, яким можна

користуватися за допомогою смартфону або комп'ютеру. Для знайомства з програмним забезпеченням усім користувачам надається безкоштовний пробний період, для того щоби фермери могли налаштувати функціонал програми під власні потреби.

Сучасні технології для збору даних про тварин:

Система автоматизованого управління фермою OneCup AI;

Платформа управління фермою DeLaval DelPro.

OneCup AI - це автоматизоване точне вирощування великої рогатої худоби, овець і коней із використанням штучного інтелекту та комп'ютерного зору. Розроблена платформа BETSY (Bovine Expert Tracking and Surveillance) компанією OneCup AI - це система штучного інтелекту, яка використовує технологію розпізнавання обличчя для моніторингу тварин (рис. 2). Платформа робить все: від відстеження росту тварин і оцінки харчування, виявлення потенційних проблем зі здоров'ям, таких як кульгавість або спалахи хвороб [12].

**Рис. 2. Технологія розпізнавання обличчя платформою BETSY**

Розроблений компанією OneCup AI додаток «Управління стадом» дозволяє дистанційно додавати, редагувати та видаляти тварин зі свого стада використовуючи телефон, планшет або комп'ютер (рис. 3). Ви також можете переглядати деталі кожної тварини [13].

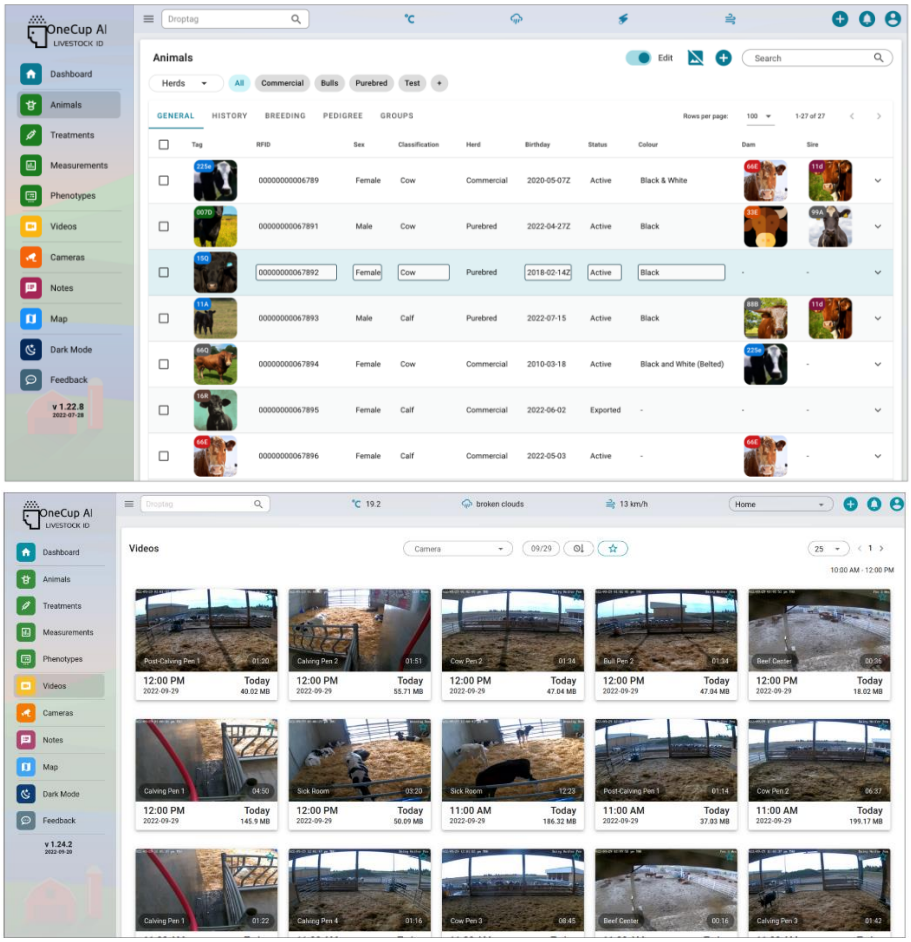



**Рис. 3. Додаток «Управління стадом» розроблений компанією OneCup AI**

DeLaval DelPro є інноваційною платформою для оптимізації управління фермами та підвищення продуктивності в галузі молочного скотарства. Ця система базується на використанні передових технологій у сфері сільського господарства та забезпечує фермерам широкий спектр інструментів для моніторингу, аналізу та автоматизації процесів у господарстві.

DeLaval DelPro збирає інформацію та презентує її у вигляді чітких таблиць, діаграм та графіків. Крім того, експертні модулі дають фермерам змогу відстежувати протоколи вакцинації на фермі, ветеринарні візити та стандартні робочі процедури, пов'язані з усіма даними, наявними в системі. Уся інформація може навіть передаватися третім сторонам, таким як фермерські консультанти, радники або регулювальні органи [14].

**Рис. 3. - Інтерфейс програми DeLaval DelPro**

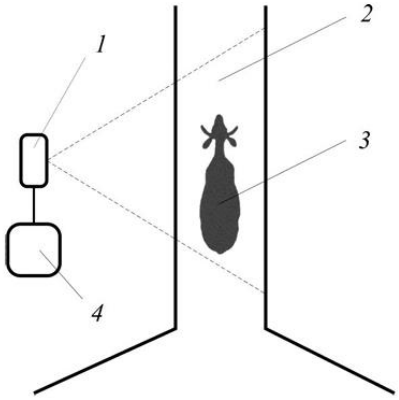
Використання подібного програмного забезпечення значно полегшує роботу фермерів. Адже, зібрані дані допомагають оптимізувати роботу не лише господарств, а й аналітичних та дослідницьких компаній, чиї висновки допомагають приймати обґрунтовані рішення та налагодити і удосконалити функціонування тваринницьких ферм у всьому світі [15].

Група вчених з Інституту наукових і промислових досліджень при Університеті Осаки розробила високоточну методику моніторингу здоров'я молочних корів. Вчені навчилися за допомогою камери і штучного інтелекту виявляти кульгавість у корів на ранній стадії.

Новий метод дозволяє виявити кульгавість, ґрунтуючись на зображеннях ходи. Для цього в корівнику встановлюються спеціальні гідроізольовані, пиленепроникні датчики, здатні вимірювати відстань до об'єкта. Тварин з кульгавістю виявляють на підставі великої кількості зображень коров'ячої ходи, отриманих за допомогою датчиків. Дослідники заявляють, що точність виявлення кульгавості становить 99% [16].

На рис. 4а представлена схема розміщення обладнання для реалізації способу оцінки стану опорно-рухового апарату ВРХ. Пристрій для отримання тривимірного зображення 1 встановлюють поруч з коридором 2, яким рухається тварина 3, таким чином, щоб довжина частини коридору, що знаходиться у полі огляду камери пристрою, перевищувала середню довжину тварини. Дистанція між пристроєм 1 і коридором 2 повинна бути достатньою для визначення відстані до тварини 3, що рухається коридором. До початку проходження тварини пристрій 1 підключають до комп'ютера 4 і проводять налаштування, яке включає в себе щонайменше побудову статистичної моделі заднього плану.

Приклад результату визначення заданих точок тіла (трекінгу) корови представлено на рис. 4б [17].




а)

б)

**Рис. 4. а) - схема розміщення обладнання для реалізації способу оцінки стану опорнорухового апарату ВРХ; б) - приклад результату визначення заданих точок тіла (трекінгу) корови**

Ida, розроблена компанією Agtech Connecterra, використовує сенсорні, хмарні обчислення, інтеграційні джерела даних і штучний інтелект для раннього виявлення захворювань тварин, таких як кетоз, мастит або проблеми з травленням. Запобігання клінічних захворювань корів скоротить кількість днів, протягом яких коровам необхідно сприймати ветеринарні препарати, такі як антибіотики. Ida - друга пара очей на фермі, що виявляє ранні ознаки аномалії в поведінці корів, які часто є первинними ознаками хвороби.

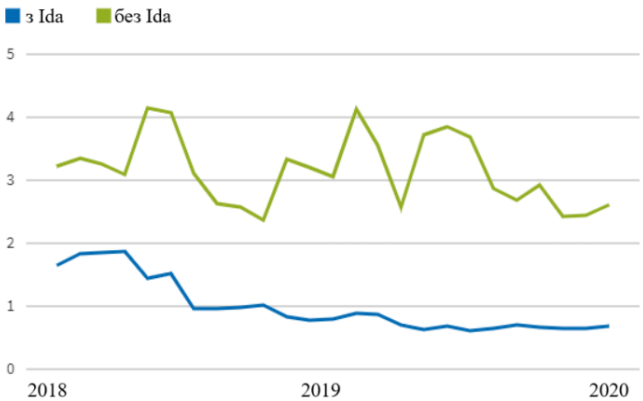



**Рис. 5. Середня кількість днів лікування корів із датчиками Ida та без (середні дані на 2 фермах)**

Середня кількість днів лікування для обох ферм за весь період (з січня 2018 року по грудень 2019 року) становить 3,16 для лікування для корів, які не мали датчика Ida, і менше ніж 1 – для лікування для корів з датчиками (рис. 5). Це означає скорочення - 2,16 дня лікування (68%), що призводить до зменшення кількості використання антибіотиків. Різниця між контрольною групою і групою Ida була ще більшою у 2019 році в порівнянні з 2018. У 2019 середня кількість днів лікування для корів з Ida становила 0,71 днів порівняно з 3,16 днями для груп без Ida. Це різниця у 2,45 дня лікування (77,5%) [18].

Моделі цифрових двійників окремих тварин пропонують підхід наступного покоління до реалізації потоку біометричної інформації в реальному часі. Цифровий двійник - це цифрова модель фізичного об'єкта в режимі реального часу, яка постійно оновлюється даними від об'єкта. Вона імітує внутрішню динаміку та взаємодію з навколишнім середовищем об'єкта, щоб виявити закономірності його поведінки, вивчити причиново-наслідкові зв'язки та запропонувати коригувальні дії операторам на основі прогнозів [19].

Запропоновано архітектуру цифрових двійників тварин, що складається з таких взаємопов'язаних компонентів (рис. 6) [20]:

- дистанційні датчики, які збирають дані від тварини;
- хмарні сервери, які взаємодіють з датчиками для отримання, зберігання та обробки даних з датчиків, а також для зміни стану датчиків;
- моделі штучного інтелекту, які навчаються виявляти закономірності в даних, та моделі машинного навчання, які роблять прогнози;
- інтерфейс користувача, за допомогою якого люди отримують інформацію та взаємодіють з нею та прогнозами цифрового двійника.

**Рис. 6. Цифрова система "двійника" з архітектурою для інтелектуальної платформи на базі штучного інтелекту для прогнозування поведінки сільськогосподарських тварин**

Розробка архітектури цифрових двійників для моделювання та прогнозування поведінки та фізіологічного стану сільськогосподарських тварин базується на використанні сенсорів та інфраструктури хмарних обчислень. Для перевірки здатності інфраструктури збирати й обробляти сенсорні дані без перебоїв протягом декількох днів, необхідно безперервно збирати мультимодальні біометричні сенсорні дані від пілотної групи сільськогосподарських тварин. Сенсорна мережа, як правило, складається з відео- і тепловізійних камер, мікрофонів і датчиків функціональної інфрачервоної спектроскопії (fNIRS), а також натільних датчиків і пластирів TNO Holst 3в1 (що вимірюють частоту серцевих скорочень, дихання і рівень активності), встановлених на тваринах. Мітки радіочастотної ідентифікації (RFID) також можна використовувати для надійної ідентифікації та визначення місцеперебування окремих тварин. Дані з датчиків з позначкою часу, отримані від кожної тварини з відеозаписів, нададуть розширену інформацію для синхронізації цифрового порівняння двійника з самою твариною [21].

Моделі цифрових двійників відкривають нові підходи до моделювання поведінки та

фізіологічного стану тварин, засновані на даних. Завдяки відображенню інформації та прогнозів цифрового двійника в інтуїтивно зрозумілій формі на інтерактивній панелі, доглядачі будуть краще поінформовані про своїх тварин, що дасть їм змогу швидко та ефективно реагувати, щоб зменшити біль та забезпечити добробут тварин.

***Висновки.*** Мультимодальний збір біометричних сенсорних даних виявляється дієвим методом для аналізу фізіологічного стану та поведінки сільськогосподарських тварин. Використання біометричних даних дозволяє прогнозувати фізіологічний стан тварин з високою точністю. Це може бути корисним інструментом для фермерів у вирішенні проблем здоров'я чи поведінкових аспектів у тваринництві.

Подальші дослідження в цьому напрямку можуть спрямовуватися на розробку і вдосконалення алгоритмів аналізу даних та розширення спектру вимірюваних параметрів. Це допоможе покращити точність та надійність прогнозування стану та поведінки сільськогосподарських тварин.

### *Список використаних джерел*


1. Солона О.В., Скоромна О.І., Огороднічук Г.М. Застосування цифрових технологій у галузі тваринництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 4 (123). С. 43–50. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-5.

2. Солона О.В. Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 71–76. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-7.

3. Neethirajan S., Reimert I., Kemp B. Measuring Farm Animal Emotions Sensor-Based Approaches. *Sensors.* 2021. 21. 553.

4. Camerlink I., Coulange E., Farish M., Baxter E.M., Turner S.P. Facial expression as a potential measure of both intent and emotion. *Sci. Rep*. 2018. 8. 17602.

5. Viscardi A.V., Hunniford M., Lawlis P., Leach M., Turner P.V. Development of a Piglet Grimace Scale to Evaluate Piglet Pain Using Facial Expressions Following Castration and Tail Docking: A Pilot Study. Front. *Vet. Sci*. 2017. 4. 51.

6. Ekici, S. Jawzal, H. Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks. *Med. Hypotheses*. 2020. 137. 109542.

7. Cho Y., Bianchi-Berthouze N., Julier S.J. DeepBreath: Deep learning of breathing patterns for automatic stress recognition using low-cost thermal imaging in unconstrained settings. In Proceedings of the 2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), San Antonio, TX, USA. 23–26 October 2017. Available online: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8273639

8. Du X., Lao F., Teng G. A Sound Source Localisation Analytical Method for Monitoring the Abnormal Night Vocalisations of Poultry. *Sensors.* 2018. 18. 2906.

9. Brouwer A.-M., van Dam E., van Erp J.B.F., Spangler D.P., Brooks J.R. Improving Real-Life Estimates of Emotion Based on Heart Rate: A Perspective on Taking Metabolic Heart Rate Into Account. *Front. Hum. Neurosci*. 2018. 12. 284

10. Riaboff L., Poggi S., Madouasse A., Couvreur S., Aubin S., Bédère N., Goumand E., Chauvin A., Plantier G. Development of a methodological framework for a robust prediction of the main behaviours of dairy cows using a combination of machine learning algorithms on accelerometer data. *Comput. Electron. Agric*. 2020. 169. 105179.

11. Valderas M.T., Bolea J., Laguna P., Bailón R., Vallverdú M., Ieee F. Mutual information between heart rate variability and respiration for emotion characterization. *Physiol. Meas*. 2019. 40. 084001.

12. Bovine Expert Tracking and Surveillance. URL:https://www.onecup.ai/betsy

13. Herd Management. URL:https://store.onecup.ai/

14. Farm management platform DeLaval DelPro™. URL:https://www.delaval.com/uk/nashi-rishennya/upravlinnya-fermoyu/

15. Вплив новітніх технологій на тваринництво: збір даних з допомогою штучного інтелекту. URL: https://zvk.org.ua/blog/vplyv-novitnikh-tekhnolohiy-na-tvarynnytstvo-zbir-danykh-z-dopomohoiu-shtuchnoho-intelektu/

16. Камера і штучний інтелект допоможуть у визначенні і лікуванні кульгавості ВРХ. URL: http://milkua.info/uk/post/kamera-i-stucnij-intelekt-dopomozut-u-viznacenni-i-likuvanni-kulgavosti-vrh

17. Алієв Е.Б., Гаврильченко О.С. Спосіб оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби. *Наукові горизонти*. 2018. № 12 (73). С. 3–7.

18. Технологія штучного інтелекту сприяє економії коштів на лікування антибіотиками молочних корів.

URL:
https://www.vetfactor.com/ua/news/tekhnologiya-shtuchnogo-intelektu-spriya-ekonomii-koshtiv-na-likuvannya-antibiotikami-molochnikh-koriv/

19. Schwartz S.M., Wildenhaus K., Bucher A., Byrd B. Digital Twins and the Emerging Science of Self: Implications for Digital Health

Experience Design and “Small” Data. *Front. Comput. Sci*. 2020. 2. 31.

20. Neethirajan S., Kemp B. Digital Twins in Livestock Farming. Animals 2021. 11. 1008.

21. Brown-Brandl T.M. 1 Using RFID in Animal Management and More. *J. Anim. Sci*. 2019. 97. P. 1–2.

***References***

1. Solona, O.V., Skoromna, O.I., Ohorodnichuk, H.M. (2023). Zastosuvannia tsyfrovykh tekhnolohii u haluzi tvarynnytstva [Application of digital technologies in the livestock industry]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Technology, energy, agriculture transport AIC*, *4 (123)*, 43-50 [in Ukrainian].

2. Solona, O.V. (2020). Zastosuvannia suchasnykh mekhatronnykh system ta robotyzovanykh kompleksiv u APK Ukrainy [Application of modern mechatronic systems and robotic complexes in the agricultural sector of Ukraine]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Technology, energy, agriculture transport AIC*, *3 (110)*, 71-76 [in English].

3. Neethirajan, S., Reimert, I., Kemp, B. (2021). Measuring Farm Animal Emotions Sensor-Based Approaches. *Sensors*, *21*, 553 [in English].

4. Camerlink, I., Coulange, E., Farish, M., Baxter, E.M., Turner, S.P. (2018). Facial expression as a potential measure of both intent and emotion. *Sci. Rep, 8*, 17602 [in English].

5. Viscardi, A.V., Hunniford, M., Lawlis, P., Leach, M., Turner, P.V. (2017). Development of a Piglet Grimace Scale to Evaluate Piglet Pain Using Facial Expressions Following Castration and Tail Docking: A Pilot Study. Front. *Vet. Sci*, *4*, 51 [in English].

6. Ekici, S., Jawzal, H. (2020). Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks. *Med. Hypotheses*, *137*, 109542 [in English].

7. Cho, Y., Bianchi-Berthouze, N., Julier, S.J. (2017). DeepBreath: Deep learning of breathing patterns for automatic stress recognition using low-cost thermal imaging in unconstrained settings. *Proceedings of the 2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII).* (pp. 23-26), San Antonio, USA. Available online: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8273639 [in English].

8. Du, X., Lao, F., Teng, G. (2018). A Sound Source Localisation Analytical Method for Monitoring the Abnormal Night Vocalisations of Poultry. *Sensors*, *18*, 2906 [in English].

9. Brouwer, A.M., van Dam, E., van Erp, J.B.F., Spangler, D.P., Brooks, J.R. (2018). Improving Real-Life Estimates of Emotion Based on Heart Rate: A Perspective on Taking Metabolic Heart Rate into Account. *Front. Hum. Neurosci, 12*, 284 [in English].

10. Riaboff, L., Poggi, S., Madouasse, A., Couvreur, S., Aubin, S., Bédère, N. et al. (2020). Development of a methodological framework for a robust prediction of the main behaviours of dairy cows using a combination of machine learning algorithms on accelerometer data. *Comput. Electron. Agric, 169,* 105179 [in English].

11. Valderas, M.T., Bolea, J., Laguna, P., Bailón, R., Vallverdú, M., Ieee, F. (2019). Mutual information between heart rate variability and respiration for emotion characterization. *Physiol. Meas, 40,* 084001 [in English].

12. Bovine Expert Tracking and Surveillance. URL:https://www.onecup.ai/betsy [in English].

13. Herd Management. URL:https://store.onecup.ai/ [in English].

14. Farm management platform DeLaval DelPro™. URL:https://www.delaval.com/uk/nashi-rishennya/upravlinnya-fermoyu/ [in English].

15. Vplyv novitnikh tekhnolohii na tvarynnytstvo: zbir danykh z dopomohoiu shtuchnoho intelektu [Impact of new technologies on animal husbandry: data collection using artificial intelligence]. URL: https://zvk.org.ua/blog/vplyv-novitnikh-tekhnolohiy-na-tvarynnytstvo-zbir-danykh-z-dopomohoiu-shtuchnoho-intelektu/ [in Ukrainian].

16. Kamera i shtuchnyi intelekt dopomozhut u vyznachenni i likuvanni kulhavosti VRKh [Camera and artificial intelligence to help identify and treat lameness in cattle]. URL: http://milkua.info/uk/post/kamera-i-stucnij-intelekt-dopomozut-u-viznacenni-i-likuvanni-kulgavosti-vrh [in Ukrainian].

17. Aliiev, E.B., Havrylchenko, O.S. (2018). Sposib otsinky stanu oporno-rukhovoho aparatu velykoi rohatoi khudoby [Method for assessing the state of the musculoskeletal system of cattle]. *Naukovi horyzonty – Scientific horizons, 12 (73)*, 3-7 [in Ukrainian].

18. Tekhnolohiia shtuchnoho intelektu spryiaie ekonomii koshtiv na likuvannia antybiotykamy molochnykh koriv [Artificial intelligence technology helps to save money on antibiotic treatment of dairy cows.] URL: https://www.vetfactor.com/ua/news/tekhnologiya-shtuchnogo-intelektu-spriya-ekonomii-koshtiv-na-likuvannya-antibiotikami-molochnikh-koriv/ [in Ukrainian].

19. Schwartz, S.M., Wildenhaus, K., Bucher, A., Byrd, B. (2020). Digital Twins and the Emerging Science of Self: Implications for Digital Health Experience Design and «Small» Data. *Front. Comput. Sci, 2,* 31 [in English].

20. Neethirajan, S., Kemp, B. (2021). Digital Twins in Livestock Farming. *Animals*, 11, 1008 [in English].

21. Brown-Brandl, T.M. (2019). Using RFID in Animal Management and More. *J. Anim. Sci, 97,* 1-2 [in English].

**PREDICTION AND MONITORING OF ANIMAL HEALTH USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

*Farm animals, which number more than 70 billion worldwide, are increasingly kept on large, intensive farms. Currently, there are no scientifically based "benchmarks" for quantifying transient physiological (affective) states in farm animals, and there are no established indicators, only indicators of poor condition, such as injury, pain, and fear. Traditional approaches to monitoring animal health are time-consuming, interrupt agricultural processes, and involve subjective judgment. Biometric sensor data supported by artificial intelligence is a smart new solution for covert animal monitoring, but its potential for quantifying physiological states and innovative solutions in its application have not yet been realized. This review presents innovative methods for collecting large amounts of data on the condition of farm animals that can be used to train artificial intelligence models to classify, quantify, and predict the physiological states of farm animals. By extending this to the group level, artificial intelligence can be applied to model emotional dynamics and contagion among animals. Digital twin models open up new data-driven approaches to modelling animal behaviour and physiological state. By displaying the information and predictions of the digital twin in an intuitive way on an interactive dashboard, caregivers will be better informed about their animals, enabling them to respond quickly and effectively to reduce pain and ensure animal welfare. Further research in this area can be aimed at developing and improving data analysis algorithms and expanding the range of measured parameters.*

***Keywords**: artificial intelligence, agricultural sector, sensors, physiological state, behavioural modelling, digital twin.*

***Відомості про авторів***

**Солона Олена Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-4596-0449).
**Лісовий Дмитро Русланович** – технолог ТОВ «М'ясний майстер» (Ващука, 17, м. Вінниця, Україна, 21001, e-mail: lisovoj.dmitry@gmail.com).

**Olena Solona** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Labor Protection and Biotechnical Systems in Animal Production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net, https://orcid.org/ 0000-0002-4596-0449).
**Dmytro Lisovyi** is a technologist at "Myasny Master" LLC (Vashchuka St., 17, Vinnytsia, Ukraine, 21001, e-mail: lisovoj.dmitry@gmail.com).