УДК 636.2:636.5:631.147:636.089
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.2.28

ПРЕЦИЗІЙНЕ ЖИВЛЕННЯ В СВИНАРСТВІ ТА ПТАХІВНИЦТВІ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА

Недашківський В.М. *– д.с.-г.н., професор,*
перший проректор, проректор з організаційної роботи,
Білоцерківський національний аграрний університет
orcid.org/0000-0001-5487-6807

Позняковський Ю.В. *– науковий співробітник,*
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-0120-0296

Куриленко Ю.Ф. *– науковий співробітник,*
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-4679-0242

Цап С.В. *– доцент кафедри технології годівлі і розведення тварин,*
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-2495-949X

За останні п'ятдесят років тваринництво зазнало значних змін, особливо у свинарстві та птахівництві. В Україні ці процеси відбуваються швидше, що створює додатковий економічний, соціальний і екологічний тиск на фермерів. Галузь стикається з нестабільністю торгівлі, зменшенням державної підтримки, зростанням суспільних вимог щодо добробуту тварин і охорони довкілля, подорожчанням кормів та дефіцитом протеїнових ресурсів, а також обмеженою робочою силою. У цих умовах розширення виробництва та впровадження інноваційних технологій стають критично важливими для економічної стійкості господарств.

Мета, яку вирішує дана стаття, полягає у виявленні проблем високих витратах кормів, низькій ефективності використання поживних речовин і негативному впливі традиційних систем годівлі на довкілля. Дослідження спрямоване на аналіз впровадження прецизійного тваринництва та прецизійного живлення (PN) як засобу для оптимізації годівлі свиней і птиці, підвищення продуктивності та зниження екологічного навантаження.

Прецизійне тваринництво базується на інтеграції сенсорних систем, автоматичної ідентифікації, аналізу великих даних та алгоритмів штучного інтелекту, що дозволяє ефективно контролювати стан здоров'я тварин, формувати оптимальні раціони, регулювати темпи росту та своєчасно реагувати на ризики. Системи PN забезпечують точну подачу корму індивідуально або для малих груп, коригуючи обсяг і склад раціонів залежно від потреб тварин і стадії росту. Змішувальна годівля та автоматизовані годівниці дозволяють адаптувати раціони для кожної тварини, підвищуючи ефективність використання кормів. Прецизійне живлення здатне підвищити економічну та екологічну ефективність виробництва: знизити витрати на корм, скоротити викиди азоту та фосфору, зменшити парникові гази, зберігаючи продуктивність. Основні виклики впровадження пов'язані з необхідністю точного моніторингу поведінки та стану тварин, обробки великих даних і створення ефективних алгоритмів керування. Найефективнішими є системи,

© Недашківський В.М., Позняковський Ю.В., Куриленко Ю.Ф., Цап С.В., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

які поєднують емпіричні та механістичні моделі та здатні адаптуватися до індивідуальних потреб тварин і змін у часі.

Прецизійна годівля дозволяє підвищити ресурсну ефективність, знизити екологічний вплив, створювати персоналізовані раціони та покращувати добробут і продуктивність тварин. Для комерційного застосування необхідне створення інтегрованих, доступних і надійних систем. Незважаючи на високі початкові витрати, очікується, що прецизійне тваринництво та системи PN стануть масовими завдяки зниженню вартості технологій, зростанню попиту на низьковуглецеві системи та обмеженості робочої сили.

Ключові слова: *продуктивність, конверсія корму, кормові добавки, молодняк свиней, курчата-бройлери, жива маса.*

Nedashkivskyi V.M., Pozniakovskyi Yu.V., Kurylenko Yu.F., Tsap S.V. Precision nutrition in pig and poultry production: modern technologies, challenges, and sustainable production perspectives

Over the past fifty years, livestock production has undergone significant changes, particularly in pig and poultry farming. In Ukraine, these processes are occurring at an accelerated pace, creating additional economic, social, and environmental pressures on farmers. The industry faces trade instability, reduced government support, increasing societal demands for animal welfare and environmental protection, rising feed costs, a shortage of protein resources, and limited labor availability. Under these conditions, expanding production and implementing innovative technologies become critically important for the economic sustainability of farms.

The problem addressed in this study concerns high feed costs, low efficiency in nutrient utilization, and the negative environmental impact of traditional feeding systems. The study focuses on analyzing the implementation of precision livestock farming (PLF) and precision nutrition (PN) as tools to optimize the feeding of pigs and poultry, enhance productivity, and reduce environmental burdens.

Precision livestock farming relies on the integration of sensor systems, automatic identification, big data analysis, and artificial intelligence algorithms, enabling effective monitoring of animal health, formulation of optimal diets, regulation of growth rates, and timely responses to risks. PN systems provide accurate feed delivery for individual animals or small groups, adjusting feed quantity and composition according to the animals' needs and growth stages. Blend feeding and automated feeders allow ration adaptation for each animal, increasing feed use efficiency. Precision nutrition can improve both the economic and environmental efficiency of production by reducing feed costs, lowering nitrogen and phosphorus excretion, and decreasing greenhouse gas emissions while maintaining productivity. The main challenges in implementation include the need for precise monitoring of animal behavior and health, processing large volumes of data, and developing effective control algorithms. The most efficient systems combine empirical and mechanistic models and can adapt to individual animal needs and temporal variations.

Precision feeding enhances resource efficiency, minimizes environmental impact, enables personalized diets, and improves animal welfare and performance. Commercial application requires the development of integrated, accessible, and reliable systems. Despite high initial costs, PLF and PN systems are expected to become widespread due to decreasing technology costs, increasing demand for low-carbon systems, and limited labor availability.

Key words: *productivity, feed conversion, feed additives, piglets, broiler chickens, body weight.*

Актуальність теми дослідження. Протягом останніх п'ятдесяти років тваринництво у багатьох країнах світу зазнало суттєвих змін у структурі та технологіях виробництва. Наразі у свинарстві та птахівництві спостерігається різке зростання інтенсивності виробництва, що супроводжувалося концентрацією поголів'я та скороченням кількості господарств. В Україні, де тваринництво активно розвивається й сьогодні, ці процеси відбуваються значно швидше, ніж раніше.

Сучасні виробники тваринницької продукції працюють під значним економічним, соціальним та екологічним тиском. Галузь змушена адаптуватися до нестабільності міжнародної торгівлі, зменшення державної підтримки, зростання суспільних вимог щодо добробуту тварин та охорони довкілля, підвищення вартості кормів і ресурсів, а також дефіциту рослинних джерел протеїну. Додатковими

викликами є скорочення трудових ресурсів, зміна очікувань працівників щодо умов праці та балансу між роботою та особистим життям, а також необхідність скорочення викидів парникових газів. У таких умовах розширення масштабів і підвищення інтенсивності виробництва стають критично важливими для економічної стійкості ферм. Впровадження інноваційних технологій розглядається як ключовий інструмент створення сталих систем тваринництва, здатних одночасно задовольняти економічні, екологічні та соціальні вимоги.

Прецизійне тваринництво (*precision livestock farming*, PLF), або «розумне» тваринництво, передбачає інтеграцію підходів процесного управління з сучасними цифровими технологіями. Ця концепція охоплює використання комплексних сенсорних систем, автоматизованої ідентифікації та відстеження тварин, обробку великих обсягів даних, а також застосування математичних моделей і алгоритмів штучного інтелекту, що відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності виробничих процесів. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, включно з Інтернетом та хмарними обчисленнями, значно пришвидшує впровадження PLF у практику тваринництва. Завдяки безперервному автоматизованому моніторингу фізіологічного стану та поведінки тварин, фермери отримують змогу точніше формувати раціони, ефективніше регулювати темпи росту та своєчасно реагувати на потенційні загрози для здоров'я, що сприяє підвищенню загальної продуктивності та добробуту тварин.

Постановка проблеми. Прецизійне тваринництво (PLF) є сучасним підходом, який дозволяє одночасно підвищувати економічну ефективність виробництва, оптимізувати використання ресурсів, покращувати добробут тварин та забезпечувати екологічну сталість тваринницьких систем. Незважаючи на значний прогрес у впровадженні PLF, ефективне управління годівлею тварин залишається одним із найскладніших і найбільш дискусійних аспектів цієї системи, оскільки потребує інтеграції передових технологій, індивідуалізації раціонів та точного контролю фізіологічних і продуктивних параметрів тварин.

Метою цього огляду є комплексний аналіз застосування прецизійного тваринництва у годівлі свиней та курей, оцінка сучасних технологій і методів, а також визначення ключових викликів і перспектив для підвищення продуктивності та сталості виробництва.

Результати досліджень. Дані, що збираються та аналізуються в системах прецизійного живлення , використовуються для точного регулювання як кількості, так і поживного складу кормів, що подаються тваринам. Серцем таких систем є автоматизовані годівниці, які забезпечують подачу раціонів із заданими параметрами на відповідних етапах виробничого циклу. Залежно від обраної стратегії PN, управління може здійснюватися через зміну обсягу корму, його нутрієнтної щільності або їх комбінацію. У випадку обмеженої годівлі переважно коригують саме кількість корму, залишаючи незмінним його склад [14].

Для адаптації поживного профілю раціонів у системах прецизійного живлення (PN) широко застосовується метод змішувальної годівлі, який передбачає комбінування кормів із різною поживною щільністю – один з високим вмістом нутрієнтів, інший – з низьким [15]. Регулювання співвідношення цих компонентів дозволяє точно контролювати концентрацію поживних речовин у раціоні для окремих тварин або груп, забезпечуючи їх оптимальний рівень на різних етапах росту і розвитку, що особливо важливо для досягнення цільових продуктивних показників і ефективного використання кормових ресурсів [16]. У сучасних індивідуалізованих системах PN автоматична ідентифікація тварини в годівниці дає

змогу формувати та подавати персоналізовану кормову суміш відповідно до розрахованих потреб кожного індивіда, враховуючи його фізіологічний стан, стадію росту та продуктивність [17]. Такий підхід сприяє підвищенню точності годівлі, мінімізації надлишкового використання кормів та зменшенню екологічного навантаження за рахунок скорочення екскреції нутрієнтів.

Прецизійне живлення, особливо при індивідуальному підході до тварин, демонструє значний потенціал для підвищення як економічної, так і екологічної ефективності тваринницьких систем. Його впровадження дозволяє оптимізувати використання кормів, зменшити екскрецію Азоту та Фосфору, а також скоротити викиди парникових газів без зниження продуктивності тварин [17, 18, 19]. Незважаючи на очевидні переваги, широкомасштабне комерційне застосування PN досі обмежене [5]. Причинами цього є не лише економічні та організаційні труднощі, а й концептуальні бар'єри, зокрема складності у зборі та аналізі великих обсягів даних, розробці і впровадженні ефективних керуючих алгоритмів, а також інтеграції систем прецизійного живлення з іншими компонентами прецизійного тваринництва. Подолання цих обмежень є критично важливим для розвитку PN як інструменту сталого та ефективного виробництва.

Обробка даних. У прецизійній годівлі (PN) стратегія керування визначає не лише ключові параметри для контролю, а й методи їх обробки, аналізу та використання в управлінських рішеннях. Основними контрольованими показниками залишаються кількість корму та його поживний склад, тоді як контроль темпів росту переважно застосовується у тварин, для яких критично підтримувати стабільну масу та кондицію, таких як свиноматки або батьківські стада бройлерів, і значно рідше – у м'ясному виробництві, де основним пріоритетом є економічна ефективність і оптимізація конверсії корму.

Для м'ясних тварин головною проблемою PN є точне визначення оптимального забезпечення численними поживними речовинами з урахуванням індивідуальних потреб тварин, що змінюються з часом. Використання алгоритмів зворотного зв'язку часто обмежене через часові затримки реакції організму на зміни в складі корму та неоднорідність продуктивної відповіді тварин, що може призводити до нестабільного або субоптимального керування [14]. Тому такі методи є малопридатними для м'ясного виробництва і доцільні лише у поєднанні з іншими підходами в спеціалізованих групах тварин [20].

Механістичні моделі, які описують біологічні процеси на основі знань про метаболізм і фізіологію, часто виявляються занадто складними для практичного використання на фермах, тоді як чисто емпіричні, побудовані на статистичних даних, не можуть повністю відобразити складну взаємодію між поживними речовинами, середовищем, станом здоров'я та поведінкою тварин. Обидва підходи потребують калібрування на основі еталонних популяцій, що не завжди відповідають сучасним умовам виробництва і можуть не враховувати зміни в генетиці, технології годівлі та кліматичних факторах [16, 21].

Сучасні системи PN повинні оперувати з великими потоками даних у режимі реального часу, що вимагає застосування нових адаптивних моделей та спеціальних методів статистичної обробки, включно з аналізом великих даних (big data) та алгоритмами машинного навчання [22]. Це дозволяє враховувати міжіндивідуальні відмінності, динаміку змін потреб у поживних речовинах у часі та складну взаємодію метаболічних, імунологічних і поведінкових реакцій тварин.

Найбільш ефективним підходом є інтеграція механістичних та емпіричних моделей, що дозволяє системам PN адаптуватися до поточного стану тварин і умов

виробництва, формувати персоналізовані раціони та забезпечувати стабільну продуктивність і якість продукції. При цьому основними джерелами варіабельності, які повинні враховуватися, залишаються міжіндивідуальні відмінності, зміни потреб у поживних речовинах у різні періоди росту та ефекти зовнішніх факторів, таких як температура, вологість та стресові чинники [16, 23].

У практичному впровадженні PN автоматизовані годівниці забезпечують точну подачу корму як для окремих тварин, так і для невеликих груп, коригуючи обсяг та склад раціону відповідно до розрахованих потреб. Розроблено різні типи годівниць для свиней [24], птиці [9] та інших видів тварин [25], що дозволяє гнучко адаптуватися до специфіки фермерського господарства.

Для ефективного використання PN на фермах критично важливо: створювати повністю інтегровані автоматизовані системи, оскільки окреме використання ваг, годівниць, систем ідентифікації та інших компонентів PLF значно ускладнює роботу фермерів і знижує ефективність управління; залучати різних фахівців та зацікавлених сторін – дослідників, інженерів, постачальників технологій, економістів, фермерів і навіть споживачів, забезпечуючи міждисциплінарний підхід до впровадження PN [26]; Забезпечувати навчання та сервісну підтримку для фермерів, що передбачає розвиток нової сервісної індустрії, оскільки більшість фермерів більше орієнтовані на технічне обладнання, ніж на програмне забезпечення або сенсори [12]. Завдяки таким інтегрованим підходам системи PN можуть значно підвищити точність годівлі, економічну ефективність, знизити екологічне навантаження та покращити добробут тварин, водночас забезпечуючи стабільність та сталий розвиток виробництва.

Перспективи розвитку. Прецизійне живлення (PN) має потенціал суттєво зменшити екологічне навантаження тваринництва, забезпечуючи подачу поживних речовин відповідно до фактичних потреб кожної тварини або невеликих груп. Невикористані нутрієнти, що виводяться з організму, не лише підвищують виробничі витрати, але й негативно впливають на стійкість фермерських систем [27]. Найбільш ефективні стратегії PN враховують міжіндивідуальні відмінності в потребах тварин та їх динамічні зміни протягом росту, що дозволяє мінімізувати надлишкове внесення кормів і підвищити екологічну ефективність виробництва.

Для подальшого розвитку PN необхідне більш глибоке розуміння метаболічних процесів тварин. Традиційні моделі та концепції, що базуються на середніх показниках популяції, не здатні врахувати індивідуальні відмінності у споживанні та засвоєнні поживних речовин [28]. Індивідуальні тварини демонструють здатність коригувати темпи росту та склад приросту залежно від доступності енергії та амінокислот [28], при цьому однакова кількість поживних речовин може по-різному впливати на різних особин через варіабельність метаболічних і фізіологічних реакцій [29, 30]. Поточні моделі PN ще не враховують ці міжособинні та динамічні відмінності [31], що обмежує точність прогнозування потреб та ефективність застосування систем.

Сучасні підходи передбачають інтеграцію відомих *(knowledge-driven*) та експериментальних даних (*data-driven*) моделей, що дозволяє більш точно оцінювати нутрієнтні потреби тварин та ефективно використовувати великі обсяги даних ферми в реальному часі [5, 16, 32]. Таке поєднання дозволяє підвищити продуктивність та економічну ефективність виробництва, одночасно зменшуючи екологічний вплив [16, 23, 24]. Удосконалені методи аналізу включають використання алгоритмів машинного та глибинного навчання в поєднанні з класичними механістичними та емпіричними моделями, що дозволяє більш точно прогнозувати

потреби в енергії, амінокислотах та інших нутрієнтах для кожної тварини [5, 32].

Впровадження PN повинно розглядатися як складова інтегрованої виробничої системи, де процес годівлі пов'язаний із усім циклом виробництва та інтегрований з виробництвом кормів. Такий підхід забезпечує комплексне управління ресурсами, знижує втрати кормів та небажане виведення поживних речовин, сприяючи скороченню екологічного сліду тваринництва та підвищенню сталості виробничих систем [1, 33]

Висновки. Прецизійна годівля (PN) у тваринництві дозволяє значно підвищити ефективність використання кормів, зменшити викиди поживних речовин та оптимізувати продуктивність тварин. Водночас її впровадження вимагає точного й оперативного моніторингу поведінки, фізіологічного стану та індивідуальних потреб тварин, що забезпечується сучасними сенсорними технологіями та автоматизованими системами спостереження. Ключову роль відіграють алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу даних і формування персоналізованих стратегій годівлі. Ефективна комерційна реалізація PN потребує автоматизованого обладнання, здатного точно контролювати споживання корму, а також досліджень довгострокового впливу на здоров'я, добробут і продуктивність тварин. Перспективи PN полягають у підвищенні ресурсної ефективності, зниженні екологічного впливу та розвитку індивідуалізованих систем годівлі, які сприяють здоров'ю тварин і покращенню якості продукції. Основними обмеженнями залишаються високі початкові витрати на обладнання та технології, однак очікується, що PN і PLF стануть масовими завдяки зниженню вартості технологій, зростанню попиту на низьковуглецеві системи та обмеженості робочої сили.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Menendez H.M., Brennan J.R., Gaillard C., Ehlert K., Quintana J., Neethirajan S., Remus A., Jacobs M., Teixeira I.A.M.A., Turner B.L., Tedeschi L.O.. ASAS-NANP Symposium: Mathematical Modeling In Animal Nutrition: Opportunities and Challenges of Confined and Extensive Precision Livestock Production. *Journal of Animal Science.* 2022. Vol. 100. P. skac160. doi:10.1093/jas/skac160

2. Tedeschi L.O. ASAS-NANP Symposium: Mathematical Modeling In Animal Nutrition: The progression of data analytics and artificial intelligence in support of sustainable development in animal science. *Journal of Animal Science*. Vol. 100. P. skac111. doi:10.1093/jas/skac11

3. Berckmans D. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*. 2017. Vol. 7. P. 6–11. doi:10.2527/af.2017.0102

4. Leite M., Abe, Jair T., Leandro S. M. (2026). Sistemas de suporte à decisão para controle ambiental na avicultura: tendências, avanços e perspectivas. *Conference: XXXII SIMPEP*. 2026. P. 1–16. doi:10.29327/18097189.1219301

5. Ellis J.L., Jacobs M., Dijkstra J., van Laar H., Cant J.P., Tulpan D., Ferguson N. Review: Synergy between mechanistic modelling and data-driven models for modern animal production systems in the era of big data. *Animal*. 2020. Vol. P. s223-s237. doi:10.1017/S1751731120000312

6. Azubuike B., Chlingaryan A., Correa L., Martin C., Cameron G. S. (2025). A Data-Driven Approach for Optimising Supplement Allocation to Individual Lactating Dairy Cows in Pasture-Based Systems. *Smart Agricultural Technology*. 2025. Vol. 12. P. 101669. doi:10.1016/j.atech.2025.101669

7. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153 P. 69–80. doi:10.1016/j.agsy.2017.01.023

8. Pomar C., Van Milgen J., Remus A. Precision animal nutrition, principle and practice W. Hendriks, M. Verstegen, L. Babinszky (Eds.), Poultry and pig nutrition:

challenges of the 21st century, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 2019. pp. 397–418. doi:10.3920/978-90-8686-884-1_18

9. Zuidhof M.J. Precision livestock feeding: matching nutrient supply with nutrient requirements of individual animals. *Journal of Applied Poultry Research.* 2020. Vol. 29. P. 11–14. doi:10.1016/j.japr.2019.12.009

10. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: building 'digital representations' to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019. Vol.13. P. 3009–3017. doi:10.1017/S175173111900199X

11. Warsono R., Rizal M., Mutiara G. Automated Livestock Monitoring: Real-Time Weighing and RFID Integration for Modern Farms. *BIO Web of Conferences*. 2025. Vol. 201. P. 01002. doi:10.1051/bioconf/202520101002.

12. Banhazi T.M., Lehr H., Black J.L., Crabtree H., Schofield P., Tscharke M., Berckmans D. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2012. Vol. 5. P. 1–9. doi:10.3965/j.ijabe.20120503.00

13. Bairwa R., Bairwa C., Kanaujia Sukula S., Hanotiya L. The Role of Digital Libraries for Sustainable Research and Innovation: A Review. *International Journal of Research in Library Science.* 2025. Vol. 11. P. 183–190. doi:10.26761/ijrls.11.4.2025.1986

14. Cangar Ö., Aerts J.M., Vranken E., Berckmans D. Effects of different target trajectories on the broiler performance in growth control. *Poultry Science.* 2008. Vol. 87. P. 2196–2207. doi:10.3382/ps.2008-00112

15. Frobose H.L., Sulabo R.C., DeRouchey J.M., Ryder D., Tokach M.D., Dritz S.S., Goodband R.D., Nelssen J.L. The effects of diet blending and feed budgeting on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and economic return. *The Professional Animal Scientist.* 2014. Vol. 30. P. 375–392. doi:10.15232/pas.2013-01297

16. Pomar C., Remus A. Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. *Animal Frontiers*. 2019. Vol. 9. P. 52–59. doi:10.1093/af/vfz006

17. Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Radunz J. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *Animal*. 2016. Vol. 10. P. 1137–1147. doi:10.1017/S1751731115003067

18. Andretta I., Hauschild L., Kipper M., Pires P.G.S., Pomar C. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. *Animal.* 2018**.** Vol. P. 1990–1998. doi:10.1017/S1751731117003159

19. Ferguson N.S., Ponsioen T., Villegas B., Honee C., Schumacher L., Gaasbeek A., Lafontaine M., Bicheru C., Cremasco R.Integration of life cycle assessment into a mechanistic pig growth model to determine on-farm environmental footprint. *Animal – Science Proceedings*. 2022. Vol. 13. P. 546–547. doi:10.1016/j.anscip.2022.07.422

20. Dourmad J.-Y., Brossard L., Pomar C., Pomar J., Gagnon P., Cloutier L. Development of a decision support tool for precision feeding of pregnant sows. *Paper presented at the 8th European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF)*, 12–14 September 2017, Nantes, France, 2017. pp. 584–592.

21. Nutrient Requirements of Swine. National Academy Press, Washington, DC, USA, 2012.

22. Morota G., Ventura R.V., Silva F.F., Koyama M., Fernando S.C. Big Data Analytics And Precision Animal Agriculture Symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 96. P. 1540–1550. doi:10.1093/jas/sky014

23. Black J.L., Banhazi T.M., Economic and social advantages from Precision Livestock Farming in the pig industry. *Paper presented at the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF* 2013, 10–12 September 2013, Leuven, Belgium, 2013. pp. 199–208.

24. Banhazi T.M., Babinszky L., Halas V., Tscharke M. Precision Livestock Farming: Precision feeding technologies and sustainable livestock production *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2012. Vol. 5. P. 54–61.

25. Halachmi I., Guarino M., Bewley J., Pastell M. Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 99 P. 35–40. doi:10.1016/j.compag.2013.08.012

26. Black J.L. Brief history and future of animal simulation models for science and application. *Animal Production Science*. 2014. Vol. 54. P. 1883–1895. doi:10.1071/AN14650

27. Pomar C., Andretta I., Remus A. Feeding Strategies to Reduce Nutrient Losses and Improve the Sustainability of Growing Pigs. *Frontiers in Veterinary Science.* 2021. Vol. 8. P. 742220. doi:10.3389/fvets.2021.742220

28. Remus A., Castillo J.R.E. del, Pomar C. Improving the estimation of amino acid requirements to maximize nitrogen retention in precision feeding for growing-finishing pigs. *Animal.* 2020. Vol. 14. P. 2032–2041. doi:10.1017/S1751731120000798

29. Salgado H.H., Pomar C., Palin M.-F., Lapierre H., Létourneau-Montminy M.-P., Cant J.P., Remus A. Insulin sensitivity is associated with the observed variation of de novo lipid synthesis and body composition in finishing pigs. *Scientific Reports*. 2022. Vol.12. P. 14586. doi:10.1038/s41598-022-18799-0

30. Mahankali, V.B., Velraja, S., Parvathi, V.D. et al. Key Players in the Complex Pathophysiology of Obesity: A Cross-Talk Between the Obesogenic Genes and Unraveling the Metabolic Pathway of Action of Capsaicin and Orange Peel. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2025. Vol. 197. P. 649–666. doi:10.1007/s12010-024-04999-z

31. Remus A., Pomar C. One size does not fit all: opportunities and challenges in models applied to sustainable pig precision nutrition. *Animal – Science Proceedings*. 2022. Vol. 13. P. 524–525. doi:10.1016/j.anscip.2022.07.404

32. Jacobs M., Remus A., Gaillard C., Menendez H.M., Tedeschi L.O., Neethirajan S., Ellis J.L. ASAS-NANP symposium: mathematical modeling in animal nutrition: limitations and potential next steps for modeling and modelers in the animal sciences. *Journal of Animal Science*. 2022. Vol. 100. P. skac132. doi:10.1093/jas/skac132

33. Garcia-Launay F., Dusart L., Espagnol S., Laisse-Redoux S., Gaudré D., Méda B., Wilfart A. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British Journal of Nutrition*. 2018. Vol. 120 P. 1298–1309. doi: 10.1017/S0007114518002672

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026