

УДК 681.5.08

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ
АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ КОРМУ СВИНЯМИ
У ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ**

**Анатолій Тригуба, д. т. н., Андрій Савка, аспірант, Андрій Татомир, к. т. н.,
Роман Падюка, к. т. н., Олег Боярчук, к. т. н.**

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: trianamik@gmail.com, rs27mail@gmail.com, andrew.tatomyr@gmail.com,
padyukaroman@gmail.com, boyarchuko@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.043>

Тригуба А., Савка А., Татомир А., Падюка Р., Боярчук О. Аналіз сучасних датчиків та обґрунтування доцільності автоматизованого моніторингу споживання корму свинями у фермерських господарствах

Виконано аналіз процесу автоматизованого моніторингу споживання кормів свинями в різних фермах. Встановлено особливості процесу споживання корму, які лежать в основі ефективного управління годівлею та оптимального росту тварин. Виконано аналіз сучасних датчиків для автоматизованого моніторингу споживання кормів свинями та обґрунтовано доцільність їх використання. Встановлено основні типи датчиків, які автори пропонують застосувати для автоматизованого моніторингу. До них належать датчики ваги, руху, об'єму та для відслідковування індивідуального споживання корму. На підставі проведеного аналізу встановлено, що для моніторингу споживання корму за допомогою датчиків руху перевагу надають використанню методології аналізу зображень. Для моніторингу індивідуального споживання свинями корму рекомендують використати технологію радіочастотної ідентифікації (RFID), яка використовує радіохвилі для зчитування та захоплення інформації, що зберігається на мітці, прикріпленій до об'єкта. Кожен з окремих видів цих датчиків має свої переваги та недоліки за показниками точності, надійності, вартості та простоти встановлення. Встановлено, що, незважаючи на недоліки існуючих датчиків для автоматизованого моніторингу споживання корму свинями, вони мають значні переваги перед ручним моніторингом годівлі, включаючи збір даних у режимі реального часу, підвищену точність і зниження витрат на робочу силу. Означено задачі, які слід розв'язувати під час автоматизованого моніторингу кормів. Вирішення основних із них дає змогу підвищити точність збору даних та, відповідно, ефективність годування тварин. Встановлено, що автоматизований моніторинг споживання кормів із використанням сучасних датчиків має великий потенціал для підвищення ефективності та рентабельності свинарства. Вибір датчиків для автоматизованих систем моніторингу споживання кормів значною мірою впливає на ефективність та надійність систем і є напрямом подальших досліджень.

Ключові слова: моніторинг, автоматизовані процеси, споживання кормів, датчики.

Tryhuba A., Savka A., Tatomyr A., Padiuka R., Boiarchuk O. Analysis of modern sensors and the feasibility of automated monitoring of feed consumption by pigs on farms

An analysis was conducted on the process of automated monitoring of feed consumption by pigs on different farms to establish the peculiarities of the feed consumption process. Effective feeding management and optimal animal growth are based on these peculiarities. The feasibility of using modern sensors for automated monitoring of feed consumption by pigs was substantiated. The authors suggest using different types of sensors, including weight, movement, volume, and individual feed consumption sensors. The study established that image analysis methodology is preferred when using motion sensors to monitor feed consumption. Radio frequency identification (RFID) technology is recommended for monitoring individual feed consumption by pigs. RFID technology uses radio waves to read and capture information stored on a tag attached to the object. Each type of sensor has its advantages and disadvantages in terms of accuracy, reliability, cost, and ease of installation. Despite the shortcomings of existing sensors for automated monitoring of pig feed intake, they have significant advantages over manual feeding monitoring, including real-time data collection, increased accuracy, and reduced labor costs. The study defines the tasks that should be solved during the automated monitoring of fodder. Solving the main tasks can increase the accuracy of data collection and, accordingly, the efficiency of animal feeding. The study concludes that the use of modern sensors for automated monitoring of feed consumption has great potential for increasing the efficiency and profitability of pig farming. The choice of sensors for automated feed consumption monitoring systems significantly affects the efficiency and reliability of the systems and is a direction for further research.

Key words: monitoring, automated processes, feed consumption, sensors.

Постановка проблеми. Галузь свинарства в Україні на 40 % забезпечує населення м'ясною продукцією. При цьому існує низка невирішених науково-прикладних задач [1–5; 21]. Зокрема, споживання корму є критичним чинником у свинарстві, оскільки воно безпосередньо впливає на продуктивність тварин, ефективність використання корму та екологічну стійкість. Автоматизований моніторинг споживання кормів на свинофермах стає все більш актуальним у зв'язку з необхідністю точної та своєчасної інформації про поведінку свиней при годівлі. Традиційні ручні методи моніторингу споживання корму вимагають багато часу, праці та вразливі до людських помилок. З удосконаленням сенсорних технологій автоматизовані системи моніторингу можуть стати більш точними, надійними та економічно ефективними, що дозволить фермерам збирати дані про споживання корму в режимі реального часу, виявляти будь-які відхилення або зміни в поведінці годівлі та відповідно коригувати графіки годівлі. Завдяки автоматизованому моніторингу споживання кормів на свинофермах відбувається відчутне заощадження кількості витраченого корму, що забезпечує його економію більше ніж 10 % [10]. Загалом це може дозволити фермерам оптимізувати використання кормів, покращити продуктивність свиней і зменшити витрати на корми, що забезпечить кращу прибутковість і стабільність операцій у свинарстві. Однією з потенційних задач в автоматизованих системах моніторингу споживання кормів свинями є забезпечення надійності і точності використовуваних датчиків [8–10; 19–21]. Несправності або неточності датчиків можуть призвести до неправильного збору даних, що, своєю чергою, може призвести до неправильних рішень щодо годівлі і може негативно вплинути на здоров'я та продуктивність свиней. Іншою потенційною задачею є вартість впровадження автоматизованих систем моніторингу, оскільки вони можуть потребувати значних інвестицій в обладнання та інфраструктуру [6; 12; 14; 20]. Крім того, для персоналу ферми може знадобитися потреба в навчанні для адаптації та ефективного використання цих систем, що може стати однією із задач для їх успішного впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні існує багато аналітичних статей та оглядів про датчики для автоматизації процесів, та лише невелику частину з них можна практично застосувати для моніторингу кормів, а саме публікації та дослідження таких авторів, як I. A. Velit, M. M. Skiba, C. V. Radmila, P. V. Sklyar, Suresh Neethirajan, Jun Bao, Qiuju Xie, Thomas van Klompenburg, Ayalew Kassahun, S. G. Matthews, A. L. Miller, I. Kyriazakis та ін. Було проведено комплексний пошук літератури, щоб

визначити дослідження, пов'язані з датчиками для моніторингу споживання корму свинями. Пошук проводився за допомогою різних наукових баз даних, зокрема PubMed, ScienceDirect і Google Scholar. Пошукові ключові слова включали «споживання корму для свиней», «моніторинг корму», «датчик моніторингу кормів», «дозування кормів» та «моніторинг свинарників». Автори були відібрані на основі їх відповідності темі цієї статті [11; 13; 15; 16].

Моніторинг кормів у свинарниках було розглянуто на основі датчиків, які здебільшого мають механічний принцип дії та невисоку точність. У зв'язку із стрімким розвитком комп'ютерно-інтеграційних технологій, здешевленням вартості електронних датчиків та інтеграцією різних компонентів у єдину розумну систему, питання використання високоточних електронних датчиків та методів для моніторингу кормів не було до кінця розкрито. Також існує кілька задач, пов'язаних із впровадженням автоматизованого моніторингу, включаючи вартість датчиків і систем моніторингу, потребу в надійних і точних алгоритмах аналізу даних і потенційні обмеження самих датчиків, такі як чутливість до чинників навколишнього середовища та потреба в регулярному обслуговуванні [17; 18; 23]. Незважаючи на означені науково-прикладні задачі, продовження досліджень і розробка автоматизованих систем моніторингу має потенціал змінити спосіб моніторингу та розподілу корму для свиней на фермах і підвищити загальну прибутковість.

Постановка завдання. Мета дослідження – виконати аналіз сучасних датчиків для автоматизованого моніторингу споживання корму свинями у фермерських господарствах, який базується на обґрунтуванні їх переваг і недоліків, що забезпечує означення задач та варіантів удосконалення конфігурацій зазначених систем для підвищення точності моніторингу споживання кормів, а також ефективності свинарства.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- здійснити аналіз сучасних датчиків для автоматизованого моніторингу споживання корму свинями у фермерських господарствах та обґрунтувати їх переваги і недоліки;

- означити задачі та варіанти вдосконалення конфігурацій систем автоматизованого моніторингу споживання корму свинями у фермерських господарствах.

Виклад основного матеріалу. Забезпечення якості та кількості споживання кормів має вирішальне значення для здоров'я та росту свиней у різних видах ферм. Проте кілька чинників можуть негативно вплинути на споживання корму свинями, включно зі стресовими чинниками навколишнього середовища, неоптимальною

якістю або складом корму та захворюваннями. Погане споживання корму може призвести до зниження приросту ваги, підвищення рівня захворюваності та смертності, а також зниження загальної продуктивності, що може мати значні економічні наслідки для фермерів. Таким чином, моніторинг споживання корму має важливе значення для раннього виявлення проблем і вжиття необхідних заходів для їх розв'язання. Однак традиційні ручні методи моніторингу забирають багато часу і можуть не охопити повного спектра поведінки окремих свиней при споживанні. Автоматизовані системи моніторингу, які використовують різні датчики та технології, можуть подолати ці обмеження, але вони мають власний набір можливих недоліків, таких як надійність і точність датчиків, керування даними та потреба в спеціалізованих датчиках для встановлення та обслуговування системи.

Точний моніторинг споживання корму може допомогти виробникам виявити стан здо-

ров'я тварин або задачі щодо якості кормів, а також оптимізувати способи годівлі для покращання продуктивності та ефективності свиней. Останніми роками зростає інтерес до використання датчиків для моніторингу споживання корму свинями, оскільки ці пристрої можуть надавати дані в реальному часі та зменшити потребу в трудомісткому і тривалому ручному моніторингу. Розглянемо основні типи датчиків для автоматизованого моніторингу, включаючи датчики ваги, руху, об'єму та оцінення індивідуального споживання корму.

Датчики ваги – це датчики, які вимірюють вагу корму в годівниці. Вони мають високу точність і можуть надавати інформацію про споживання корму в реальному часі. Зазвичай вагу корму вимірюють за допомогою визначення сили механічних зусиль, які корм прикладає до датчика, як зображено на рис. 1.

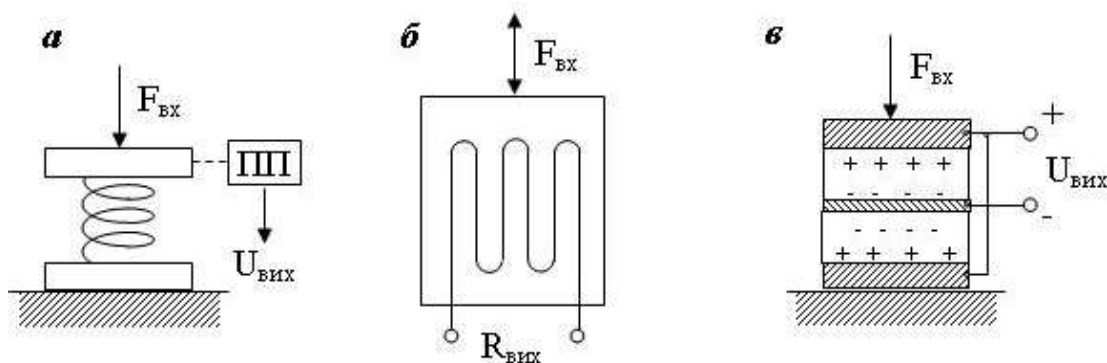


Рис. 1. Датчики механічних зусиль [17]: а – з пружинним елементом, б – тензометричний, в – п'єзометричний

Fig. 1. Sensors of mechanical forces [17]: a – with a spring element, b – tensometric, c – piezometric

Схема вимірювання навантаження кормів складається з металевої ємності для годівлі з прикріпленими до неї датчиками механічних зусиль. Коли до тензодатчика прикладається сила, він трохи деформується, спричинюючи зміну опору. Ця зміна опору потім перетворюється на електричний сигнал, який може бути зчитаний мікропроцесором. На базі різниці опору між попереднім і поточних значенням та наперед відомим об'ємом ємності можна обчислити вагу поданого корму. Датчики ваги мають низку переваг, серед яких низька вартість, простота та легкість монтажу, прості алгоритми моніторингу. Однак вони також мають деякі обмеження. До них належать потреба калібрування, нестійкість до пошкоджень або зношування, а також неточність. Незважаючи на ці обмеження, датчики механічних зусиль залишаються простим і надійним варіантом для моніторингу споживання корму свинями, особливо в ситуаціях, коли важливі міркування щодо вартості та простоти використання.

Для моніторингу споживання корму за допомогою датчиків руху пропонується використати методологію аналізу зображень, приклад якої зображено на рис. 2 [7]. Цей метод передбачає використання різноманітних марематичних і обчислювальних алгоритмів для обробки зображень, визначення і виділення корму і розрахунок об'єму на базі зображень годівниць і свиней.

Щоб використовувати аналіз зображень для моніторингу споживання корму, у свинарнику зазвичай встановлюють камери для зйомки зображень годівниць і свиней, дані з яких у режимі реального часу обробляють за допомогою марематичної моделі та алгоритмів нейронної мережі (CNN) чи машини підтримки векторів (Support Vector Machines), які можуть розпізнавати рівень корму. Аналізуючи зміни положення та розміру годівниць і свиней з плином часу, можна оцінити кількість корму, який споживають свині

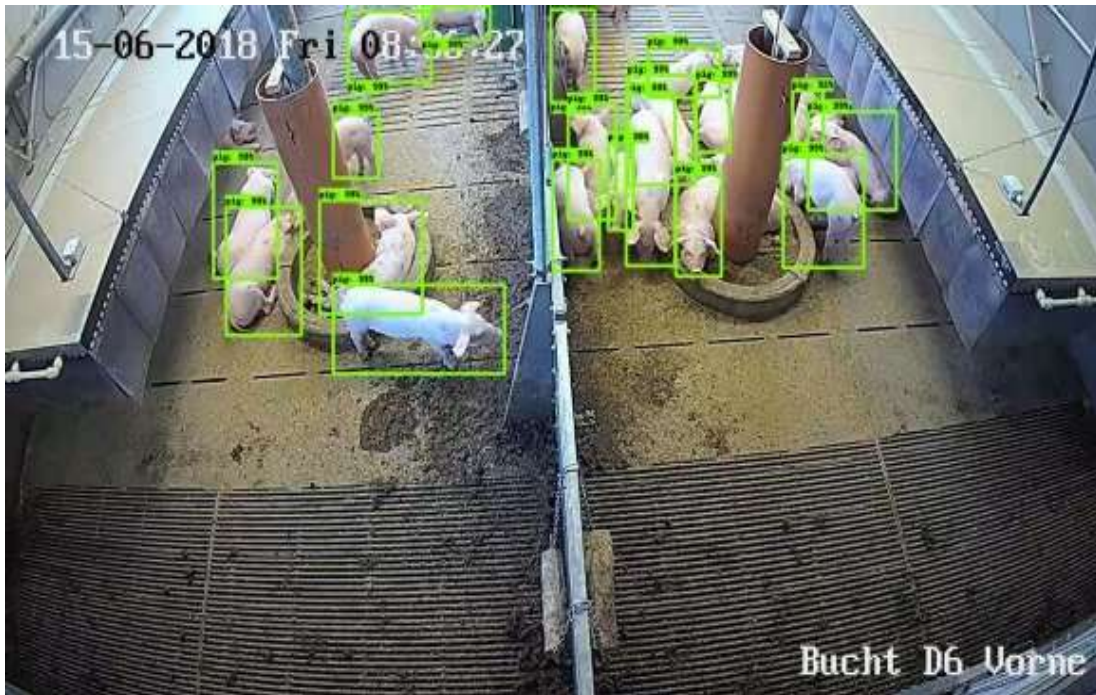


Рис. 2. Аналіз зображення для визначення рівня кормів [17]
Fig. 2. Image analysis to determine feed level [17]

Щоб використовувати аналіз зображень для моніторингу споживання корму, у свинарнику зазвичай встановлюють камери для зйомки зображень годівниць і свиней, дані з яких у режимі реального часу обробляють за допомогою математичної моделі та алгоритмів нейронної мережі (CNN) чи машини підтримки векторів (Support Vector Machines), які можуть розпізнавати рівень корму. Аналізуючи зміни положення та розміру годівниць і свиней з плином часу, можна оцінити кількість корму, який споживають свині.

Однією з переваг аналізу зображень є те, що його можна використовувати для моніторингу споживання корму без фізичного контакту зі свинями, що може бути меншим стресом для тварин і зменшити ризик передачі захворювання. Однак на аналіз зображення можуть впливати такі чинники, як умови освітлення, кут камери та наявність інших об'єктів на зображеннях, які можуть перешкоджати здатності програмного забезпечення точно відстежувати годівниці та свиней. Цей метод вимагає ретельного початкового калібрування та перевірки для забезпечення точних і надійних результатів.

Для моніторингу індивідуального споживання свинею корму автор рекомендує використати технологію радіочастотної ідентифікації (RFID), яка використовує радіохвилі для зчитування та захоплення інформації, що зберігається на мітці, прикріпленій до об'єкта. Мітки RFID потрібно прикріпити до окремих свиней, що дозволяє автоматично та безперервно відстежувати рух і поточне розміщення свині. Коли свині споживають корм, вага контейнера змен-

шується і зчитувач RFID може виявити цю зміну та передати дані про споживання корму для подальшого опрацювання.

Технологія RFID має кілька переваг, таких як можливість відстежувати споживання корму окремими свинями та визначати зміни в харчовій поведінці з часом. Це також дозволяє збирати точні та безперервні дані без втручання людини. Однак встановлення систем RFID може бути дорогим, і для їх ефективної роботи можуть знадобитися додаткове обладнання та інфраструктура, наприклад антени та зчитувачі. Крім того, точність і надійність зчитування RFID можуть бути обмежені, особливо в свинарниках зі значним поголів'ям, що створює шумне середовище.

Альтернативним варіантом для визначення кількості спожитого корму є використання датчиків об'єму. Виміряти об'єм корму можна одним із таких варіантів використання датчиків:

- електромагнітний датчик потоку корму, що проходить через трубу для його подачі (рис. 3, а) [16];
- ультразвуковий датчик, що забезпечує вимірювання відстані між верхньою частиною корму та верхньою частиною трубопроводу, на якому він закріплений. Це дозволяє обчислити об'єм споживаного корму, знаючи об'єм ємності (рис. 3, б) [22];
- термічний масовий датчик потоку, який безпосередньо вимірює масову витрату корму та заснований на різноманітних принципах роботи, що оцінюють розсіювання тепла (рис. 3, в) [22].

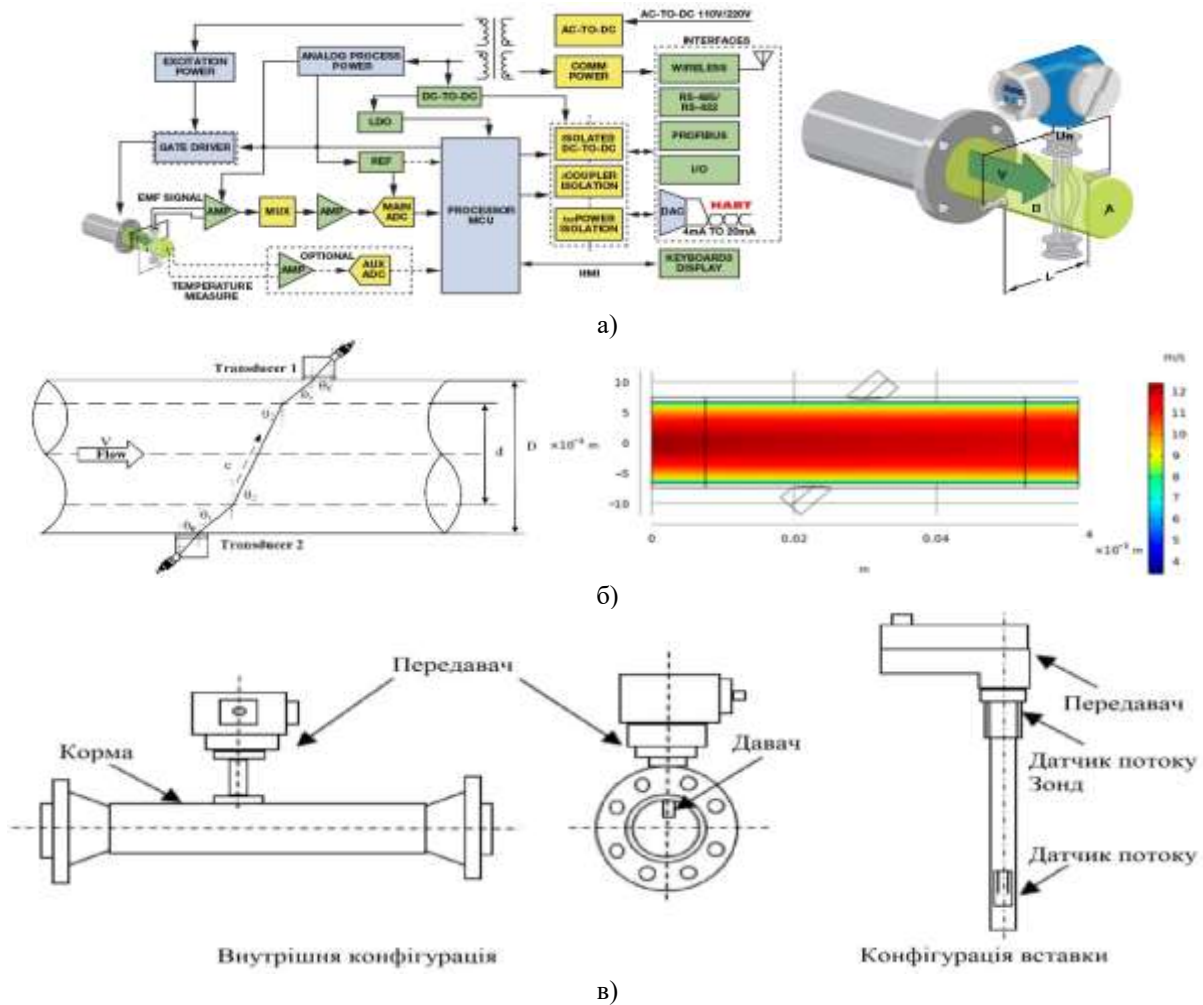


Рис. 3. Датчики визначення обсягу споживання кормів: а – електромагнітний датчик, б – ультразвуковий датчик, в – термічний масовий датчик
Fig. 3. Sensors for determining the volume of feed consumption: a – electromagnetic sensor, б – ultrasonic sensor, c – thermal mass sensor

Датчики об'єму можуть забезпечити постійний моніторинг і не вимагають прямого контакту зі свинями, що робить їх ненав'язливими. Однак на них може вплинути консистенція корму, тому для точного вимірювання потрібне калібрування. Крім того, вони можуть забиватися, якщо частинки корму занадто великі чи швидкість потоку надто низька.

У табл. 1 подано характеристики різних технологій з окремими типами датчиків для вимірювання витрат кормів. Використання електромагнітних датчиків має низьку середню точність виміру, від 0,2 % до 1 %. Датчик відзначається відсутністю рухомих частин і є корисним для використання для корозійних речовин. Використання датчиків перепаду тиску забезпечує середню точність виміру, від 0,5 % до 2 %. При цьому використання такого типу датчиків дає переваги в тому, що вони без рухомих частин і універсальні, оскільки можуть бути використані для рідин і газів. Ультразвукові датчики мають середню точність виміру від 0,3 % до 2 %. Цей тип датчиків відрізняється відсутністю рухомих

частин і можливістю використання для рідин і газів. Для всіх трьох проаналізованих варіантів вартість системи вимірювання перебуває в межах від 300 до 1000 доларів США. Водночас використання датчиків Коріоліса забезпечує найточніші вимірювання серед представлених. Зокрема, точність виміру є на рівні 0,1 %. Однак це потребує найвищих капіталовкладень у системи вимірювання, у межах від 3000 до 10000 доларів США. Його перевагами є універсальність, можливість використання для рідин і газів незалежно від тиску та температури. Вибір конкретного типу датчика для вимірювання витрат кормів залежить від бюджету та потреби в точності вимірювань. Хоча датчик Коріоліса найточніший, він також має найвищу вартість, тоді як електромагнітний та датчик перепаду тиску можуть бути вигідним варіантом вибору для фермерських господарств, що потребує менших бюджетів та відповідно зниження точності вимірювань. Ультразвуковий датчик забезпечує компроміс між точністю та вартістю системи вимірювання витрат кормів.

Таблиця 1. Сучасні технології вимірювання витрат кормів
Table 1. Modern technologies for measuring feed consumption

Показник	Тип датчиків для вимірювання витрат кормів			
	Електромагнітний	Перепаду тисків	Ультразвуковий	Коріоліса
Особливості вимірювання	Закон електромагнітної індукції Фарадея	Диференціальний: смісний або мостовий	Перехресна кореляція перетворювач/датчик	Диференціальна фаза
Середня точність виміру	0,2...1 %	0,5...2 %	0,3...2 %	0,1 %
Середня вартість системи вимірювання	300...1000 \$	300...1000 \$	300...1000 \$	3000...10000 \$
Переваги	Відсутність рухомих частин. Корисно для корозійних речовин. Двоспрямоване вимірювання потоку.	Без рухомих частин. Універсальний, може використовуватися для рідин та газів.	Немає рухомих частин. Універсальний, може використовуватися для рідин та газів.	Універсальний, може використовуватися для рідин та газів незалежно від тиску та температури.

На основі згаданих датчиків можна реалізувати систему автоматизованого моніторингу, виконавши такі основні етапи:

- визначити конкретні потреби та вимоги до системи моніторингу на основі розміру ферми, типу свиней і методів керування системою;
- визначити датчик або комбінацію датчиків, які найбільш підходять, на основі таких чинників, як точність, надійність, вартість і простота використання;
- виконати проектування системи та розробити апаратні і програмні компоненти системи моніторингу, включаючи розміщення датчиків, підключення та програмне забезпечення для збору й аналізу даних;
- виконати тестування, перевірку та калібрування системи моніторингу в реальних умовах, щоб забезпечити точність і надійність;
- навчити персонал ферми використовувати й підтримувати систему моніторингу.

Використовуючи описані вище датчики, система моніторингу споживання корму може надати цінну інформацію про харчову поведінку свиней, таку як кількість спожитого корму, частота годування, швидкість годування і тривалість годування. Вона також може виявити будь-які зміни в моделях споживання корму, які можуть вказувати на потенційну задачу оцінки здоров'я тварин або задачі щодо ефективності функціонування систем годування. Система може надавати інформацію про ріст і продуктивність свиней, дозволяючи фермерам відповідно коригувати свої стратегії управління годівлею. Крім того, автоматизований моніторинг може зменшити витрати на

оплату праці та підвищити точність і ефективність управління кормами, що забезпечить економію коштів і підвищення прибутковості.

Існує кілька типів датчиків, які можна використовувати для автоматизованого моніторингу кормів, включаючи датчики ваги, датчики руху, датчики об'єму та датчики для відслідковування індивідуального споживання корму. Кожен тип датчика має свої переваги та недоліки, які зображені у табл. 2.

У табл. 2 окремі типи датчиків порівнювали за можливостями моніторингу окремих показників, а також їх вартістю та сервісним обслуговуванням. Як видно з табл. 2, кожен тип датчиків має свої переваги та недоліки, а їх вибір залежить від конкретних потреб і вимог ферми. Більшість датчиків можна поєднувати в єдину систему моніторингу для досягнення кращих результатів. Наприклад, датчики руху і датчики об'єму для точного дозування корму і моніторингу активності та здоров'я свиней, чи датчик радіочастотної ідентифікації та датчики ваги для індивідуального моніторингу споживання корму.

Однією з головних задач, пов'язаних з автоматизованим моніторингом кормів, є забезпечення точності системи. Цього можна досягти ретельним калібруванням датчиків і регулярним обслуговуванням, щоб переконатися, що вони функціонують правильно.

З погляду вартості, автоматизовані системи моніторингу годівлі спочатку можуть бути дорогими. Однак довгострокові переваги у вигляді підвищення ефективності та зниження витрат на робочу силу можуть зробити їх вигідною інвестицією для багатьох ферм.

Таблиця 2. Основні переваги та недоліки датчиків для моніторингу спожитого корму
Table 2. Main advantages and disadvantages of sensors for feed intake monitoring

Тип датчика	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Датчик ваги	Точний моніторинг продуктів споживання корму. Підвищення ефективності годування. Невисока вартість датчика.	Вимагає регулярного налаштування та калібрування	Ферми з невеликим бюджетом. У комбінації з радіочастотними мітками дозволяє визначити індивідуальне споживання корму.
Датчики руху	Можливість моніторингу зміни активності та здоров'я свинок, оцінювати показники молодості за рухом свиней, виявлення порушення режиму вирощування.	Не дозволяє точно розраховувати кількість спожитого корму. Вимагає розміщення кількох датчиків для точного моніторингу кількості свиней. Вартість.	Великі ферми з необхідним бюджетом, ферми для органічного вирощування свиней.
Датчик радіочастотної ідентифікації (RFID)	Можливість моніторингу індивідуального споживання корму кожною свинкою без втручання людини.	Висока вартість. Необхідність встановлення обладнання для збору даних.	Високопродуктивні ферми з великою кількістю свиней.
Датчик об'єму	Можливість точної зміни кількості спожитого корму. Можливість підвищення точності дозування корму.	Необхідність калібрування через чуттєвість до консистенції корму. Необхідність регулярного очищення датчиків.	Ферми середнього розміру та ферми з невеликим бюджетом, де потрібне точне дозування корму.

Загалом аналіз показав, що автоматизований моніторинг кормів має потенціал для підвищення ефективності й точності управління кормами на свинофермах. Надаючи дані про споживання корму в реальному часі, ці системи можуть допомогти фермерам оптимізувати свої стратегії годівлі та гарантувати, що свині отримують правильну кількість корму.

Із використанням зазначених датчиків пропонується кілька варіантів для підвищення точності моніторингу споживання корму. Зокрема, поєднання датчика ваги з датчиком об'єму може підвищити точність, забезпечуючи подачу правильної кількості корму. Крім того, використовуючи комбінацію цих датчиків, можна реалізувати резервний моніторинг, якщо один із датчиків вийде з ладу, чи додаткову перевірку об'єму поданого корму, що ще більше підвищить точність подачі корму. Іншим варіантом є використання штучного інтелекту або алгоритмів машинного навчання для аналізу даних, зібраних із різних датчиків, і підвищення точності оцінок щодо споживання корму. Ці методи можуть допомогти вирішити потенційні задачі з точністю вимірювання та забезпечити точний моніторинг споживання свинями корму.

Також для покращання економічних показників автоматизованої системи моніторингу можна використати недорогі датчики і обладнання, що може допомогти знизити загальну вартість системи. Наприклад, замість високоякісних камер або зчитувачів RFID можна використовувати простіші та менш дорогі датчики. Також можливим варіантом є реалізація системи, яка

ефективніше використовує дані. Це означає зменшення частоти збору даних або збір даних лише за необхідності, а також використання алгоритмів для більш ефективного аналізу даних.

Крім того, використання програмного та апаратного забезпечення з відкритим кодом також може допомогти зменшити витрати. Нарешті, оптимізація конструкції системи може допомогти знизити вартість обладнання та встановлення. У підсумку, річні витрати на систему автоматизованого моніторингу можуть бути значно меншими за витрати на працівників ферми та за рахунок економії кормів.

Висновки. 1. Проведений аналіз сучасних датчиків для автоматизованого моніторингу споживання кормів свинями у фермерських господарствах свідчить про наявність їх багатьох різновидів, що впливають на точність та якість отриманої інформації. Встановлено, що кожен вид датчиків впливає на конфігурацію систем моніторингу споживання кормів, а також має свої переваги і недоліки. Означені переваги і недоліки датчиків лежать в основі обґрунтування конфігурації систем моніторингу споживання кормів для заданих умов сільськогосподарських підприємств. Використання електромагнітних датчиків забезпечує відсутність рухомих частин і є корисним для корозійних речовин. Використання датчиків перепаду тиску та ультразвукових дає переваги в тому, що вони без рухомих частин і універсальні, оскільки можуть бути використані для рідин і газів.

2. Встановлено, що використання електромагнітних датчиків має низьку середню точність виміру, від 0,2 % до 1 %. Використання датчиків перепаду тиску забезпечує середню точність виміру, від 0,5 % до 2 %. Ультразвукові датчики мають середню точність виміру від 0,3 % до 2 %. Для всіх трьох проаналізованих варіантів вартість системи вимірювання перебуває в межах від 300 до 1000 доларів США. Водночас використання датчиків Коріоліса забезпечує найточніші вимірювання серед представлених. Зокрема, точність виміру є на рівні 0,1 % та відповідно потребує найвищих капіталовкладень у системи вимірювання, у межах від 3000 до 10000 доларів США.

2. Вибір конкретного типу датчика для вимірювання витрат кормів залежить від бюджету й потреби в точності вимірювань. Хоча датчик Коріоліса найточніший, він також має найвищу вартість, тоді як електромагнітний і датчик перепаду тиску можуть бути вигідним варіантом вибору для фермерських господарств, що потребує менших бюджетів та відповідно зниження точності вимірювань. Ультразвуковий датчик забезпечує компроміс між точністю та вартістю системи вимірювання витрат кормів. Означені задачі та варіанти вдосконалення конфігурацій систем автоматизованого моніторингу споживання корму свинями у фермерських господарствах враховують особливості технологій моніторингу, конструкцій та схем використання датчиків, що забезпечують підвищення точності моніторингу споживання кормів.

Бібліографічний список

1. Гришук О. В. Автоматизовані системи контролю та управління годівлею свиней в умовах сучасних технологій. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. 3. С. 16-19.
2. Ковальова О. В. Розвиток технологій годівлі свиней з використанням автоматизованих систем контролю за їх годівлею. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2020. 4. С. 92-97.
3. Савченко О. О., Коломієць Ю. В., Глущенко О. В. Розвиток технології свиноводства в умовах автоматизації виробничих процесів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Механізація агропромислового виробництва*. 2019. 199. С. 166-173.
4. Ткачук С. В., Козаченко А. А. Автоматизовані системи контролю параметрів годівлі свиней. *Техніка і технологія харчових виробництв*. 2018. 4 (14). С. 1-7.
5. Тригуба А. М., Сидорчук О. В. Особливості планування проектів та програм аграрного виробництва. *Управління проектами: стан та перспективи: матеріали VI Міжнар. конф.* Миколаїв: НУК, 2010. С. 313-316.
6. Шумило І. М., Пархоменко О. О., Мороз Л. В. Автоматизація технології годівлі свиней з

використанням сучасних інформаційних технологій. *Науковий вісник Полісся*. 2021. 2 (16). С. 200-208.

7. Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis / A. Nasirahmadi, O. Hensel, S. A. Edwards, B. Sturm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 124. P. 295-302
8. Automatic monitoring of pig locomotion using image analysis / M. A. Kashiha et al. *Livestock Science*. 2014. 159. P. 141-148..
9. Automatic recognition of lactating sow behaviors through depth image processing / F. Lao et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 125. P. 56-62.
10. Automatic recognition of lactating sow postures from depth images by deep learning detector / C. Zheng et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. 147. P. 51-63.
11. Automatic recognition of sow nursing behaviour using deep learning-based segmentation and spatial and temporal features / A. Yang et al. *Biosystems Engineering*. 2018. 175. P. 133-145.
12. Bekraoui A., Hadjadj A. Thermal flow sensor used for thermal mass flowmeter. *Microelectronics Journal*. 2020. 103. 104871. doi: 10.1016/j.mejo.2020.104871
13. Deep Learning and Machine Vision Approaches for Posture Detection of Individual Pigs / A. Nasirahmadi et al. *Sensors*. 2019. 19. P. 37-38.
14. Design and Implementation of an Ultrasonic Flowmeter Based on the Cross-Correlation Method / Rui Ren, Hongliang Wang, Xiaolei Sun, He Quan. *Sensors*. 2022. 22(19). P. 7470. doi: 10.3390/s22197470
15. Li K., Slattery C. Electromagnetic Flow Meters Achieve High Accuracy in Industrial Applications. *Analog Dialogue*. 2014. P. 48-02.
16. Method and Software of Planning of the Substantial Risks in the Projects of Production of raw Material for Biofuel / A. Tryhuba et al. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. 2565. P. 116-129.
17. Method of quantitative evaluation of the risk of benefits for investors of fodder-producing cooperatives / A. Tryhuba, I. Tryhuba, O. Ftoma, O. Boyarchuk. 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2019. 3. P. 55-58.
18. Monitoring of behavior using a video-recording system for recognition of Salmonella infection in experimentally infected growing pigs / S. Ahmed, H. Mun, H. Yoe, C. Yang. *Animal*. 2015. 9. P. 115-121.
19. Mounting Behaviour Recognition for Pigs Based on Deep Learning / D. Li, Y. Chen, K. Zhang, Z. Li. *Sensors*. 2019. 19. P. 4924.
20. Nasirahmadi A., Edwards S. A., Sturm B. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*. 2017. 202. P. 25-38.
21. The automatic monitoring of pigs water use by cameras / M. Kashiha et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013. 90. P. 164-169.
22. Tryhuba A., Bashynsky O. Coordination of dairy workshops projects on the community territory and their project environment. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2019. 3. P. 51-54.

Стаття надійшла 15.06.2023