

УДК 631.3.05

## Алгоритм виявлення входження тварини на групову доїльну установку

**Павло Кулаков**

професор, д-р техн. наук  
ORCID: 0000-0002-0167-2218  
kulakovpi@gmail.com

Уманський національний університет садівництва  
Донецький національний університет імені Василя Стуса

**Володимир Кучерук**

професор, д-р техн. наук  
ORCID: 0000-0002-6422-7779  
vladimirkucheruk@gmail.com

Уманський національний університет садівництва  
Донецький національний університет імені Василя Стуса

**Роман Ліщук**

доцент, канд. техн. наук  
ORCID: 0000-0002-2051-5365  
roma0lir@gmail.com

Уманський національний університет садівництва

**Вікторія Маньковська**

доцент, канд. техн. наук  
ORCID: 0000-0003-0552-5482  
viktoryasergiivna@gmail.com

Уманський національний університет садівництва

**Анна Кулакова**

ORCID: 0000-0002-2970-7566  
anna.kulakova1735@gmail.com

Донецький національний університет імені Василя Стуса

**Ключові слова:**

алгоритм,  
інформаційна система,  
тваринницька ферма,  
оптимальна фільтрація,  
ідентифікація,  
входження тварини.

Із попередніх досліджень відомо, що у випадку помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час заходу на групову доїльну установку є високий ризик втрати інформації про показники технологічного процесу доїння, яка стосується усіх тварин групи. Це зумовлено тим, що номер доїльного станка групової доїльної установки суворо відповідає номеру тварини у черзі на установку. У разі виникнення помилки радіочастотної ідентифікації втрачається інформація про факт входження тварини, внаслідок цього сервер інформаційної системи отримує некоректну інформацію про відповідність номерів тварин у стаді номерам доїльних станків групової доїльної установки. Це призводить до того, що результати вимірювання зоотехнічних параметрів тварин та параметрів технологічного процесу доїння помилково співвідносять зі стадними номерами інших тварин. Для запобігання таких інформаційних втрат на групових доїльних установках використовують засоби підрахунку тварин у потоці. Тому важливим фактором забезпечення достовірності інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока на групових доїльних установках є точний підрахунок тварин під час їх руху до доїльних станків. Сучасні засоби підрахунку тварин

засновані на перериванні потоку інфрачервоного випромінювання тваринами під час руху і не завжди забезпечують їх точний підрахунок. Для виявлення помилок радіочастотної ідентифікації рухомих тварин на групових доїльних установках запропоновано алгоритм на основі оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта та засіб виявлення входження тварин з метою їх підрахунку у потоці. Пропонований алгоритм виявляє більше помилок радіочастотної ідентифікації, відповідно підвищується достовірність інформації про параметри технологічного процесу виробництва коров'ячого молока на групових доїльних установках.

## Вступ

У системах радіочастотної ідентифікації обмін даними між зчитувачем та транспондером здійснюється за допомогою радіозв'язку. У пам'яті транспондера зберігається унікальний код, який він передає за допомогою вбудованого радіопередавача коли потрапляє у робочу зону зчитувача [1]. Системи радіочастотної ідентифікації тварин, широко використовуються у агропромисловому комплексі [2], зокрема на сучасних молочних фермах у складі інформаційних систем, які призначені для визначення активності тварин [3], їх локалізації [4], обліку, аналізу й контролю параметрів тварин та параметрів технологічного процесу виробництва молока [5, 6].

У роботі [7] проаналізовано вплив помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час їх руху на результати отримання інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока, та встановлено, що внаслідок виникнення помилок ідентифікації часто втрачається інформація, яка стосується усіх тварин групи на групових доїльних установках. Під час використання зчитувачів великої відстані на групових доїльних установках не відбувається ідентифікація в середньому 3% рухомих тварин. За відсутності засобів виявлення входження тварини ймовірність того, що внаслідок помилок ідентифікації буде втрачена інформація про параметри доїння для типової групової доїльної установки «Ялинка-2×8», дорівнює 0.26 [7].

Для зменшення впливу помилок радіочастотної ідентифікації тварин під час руху на результати роботи інформаційних систем тваринницьких ферм використовують спеціалізовані засоби виявлення проходження усіх тварин на групову доїльну установку, зокрема і тих тварин, чия ідентифікація не відбулась [7, 8]. Такі засоби реалізуються на основі ультразвукових або оптичних сенсорів наявності об'єкта [9], принцип дії яких заснований на перериванні потоку випромінювання. Під час проходження тварини через робочу зону зчитувач системи радіочастотної ідентифікації отримує код її транспондера, після цього тварина проходить через робочу зону сенсора наявності об'єкта. Такий сенсор складається з випромінювача та приймача ультразвуку або оптичного випромінювання. У разі потрапляння тварини в робочу зону сенсора відбувається переривання потоку випромінювання, внаслідок чого на виході приймача формується імпульс певної тривалості, наявність якого і є ознакою проходження тварини [10].

Важливим фактором отримання достовірної інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока на групових доїльних установках є точний підрахунок тварин під час їх руху до доїльних станків. Тому підвищення ефективності алгоритмів входження тварин на групову доїльну установку є актуальним завданням.

### Постановка завдання

На рис. 1 наведено схему, яка пояснює вплив помилки радіочастотної ідентифікації рухомих тварин на отримання інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока під час використання групових доїльних установок [7]. Після входження тварин за відсутності помилки ідентифікації тварина з номером  $n = 1$  у черзі, яка має транспондер з кодом  $N_{1T}$ , буде знаходитись у доїльному станку 1, тварина з номером  $n = 2$ , яка має транспондер з кодом  $N_{2T}$ , буде знаходитись у доїльному станку 2 тощо. У цьому випадку не буде втрат інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока.

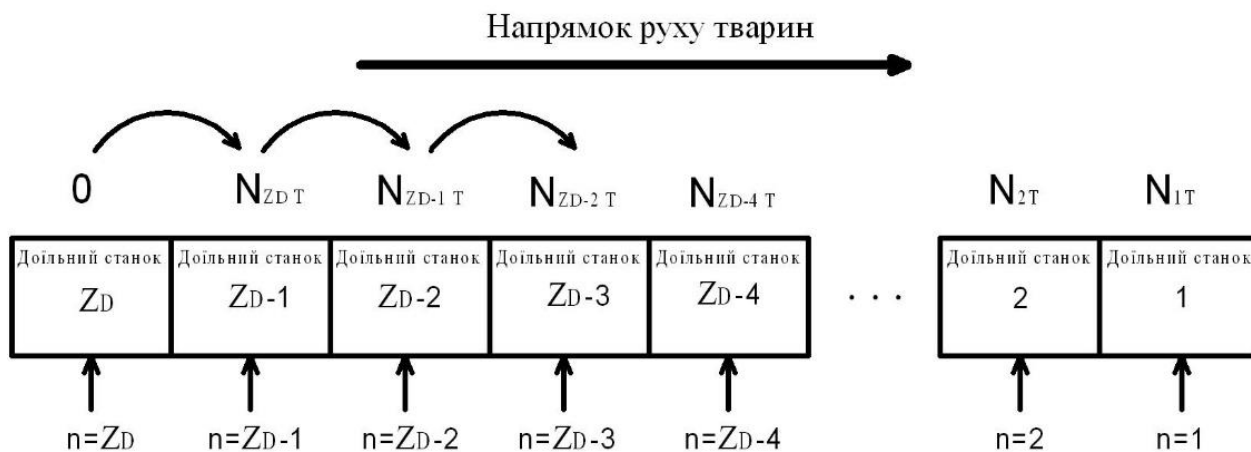


Рисунок 1. Вплив помилки радіочастотної ідентифікації на результати вимірювання та контролю зоотехнічних параметрів тварин на групових доїльних установках

Якщо під час проходження тварини з номером  $n = Z_D - 3$  через робочу зону зчитувача транспондер не буде ідентифікований, тоді сервер інформаційної системи не зможе встановити присутність цієї тварини у доїльному станку  $Z_D - 3$ . Внаслідок цього наступна тварина у черзі з номером  $n = Z_D - 2$  та з кодом транспондера  $N_{Z_D-2 T}$  буде визначена як така, що знаходиться у доїльному станку  $Z_D - 3$ . Відповідно кожна наступна тварина з номером у черзі, більшим за  $n = Z_D - 2$ , буде визначена як така, що знаходиться у доїльному станку  $n - 1$ , хоча насправді вона знаходиться у доїльному станку  $n$ . Остання тварина групи з номером  $n = Z_D$  в черзі буде знаходитись у доїльному станку  $Z_D$ , але значення коду її транспондера та стадний номер не будуть визначені сервером. У цьому випадку неможливо алгоритмічно визначити номер доїльного станка, у якому знаходиться не ідентифікована тварина. Навіть за однієї помилки ідентифікації у групі спотворюється інформація про кілька

параметрів технологічного процесу отримання молока. Алгоритмічно виявити, помилка ідентифікації якої саме тварини зумовила втрату даних усієї групи, неможливо.

Отже, за відсутності засобів підрахунку тварин на групових доїльних установках є великий ризик втрати інформації про параметри технологічного процесу виробництва молока внаслідок помилок ідентифікації. За наявності таких засобів втрати інформації мінімізуються, тому подальший розвиток цих засобів та алгоритмів їх роботи є важливим та актуальним завданням. Завданням дослідження є удосконалення алгоритму виявлення входження тварини на групову доїльну установку шляхом використання оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта.

### Результати досліджень

На рис. 2 наведено схему руху потоку тварин вздовж антени зчитувача системи радіочастотної ідентифікації та сенсора наявності об'єкта. Кожному коду транспондера, який отриманий за допомогою зчитувача, відповідає імпульсний вихідний сигнал сенсора наявності об'єкта. Якщо радіочастотна ідентифікація однієї або декількох тварин з певних причин не відбулася, факт їх проходження все одно встановлюється. Отже, за засобом виявлення проходження тварини фіксується неідентифікована тварина та визначається її номер у потоці на основі відповідних підрахунків. На групових доїльних установках це дає можливість запобігти втраті інформації про всю групу тварин.

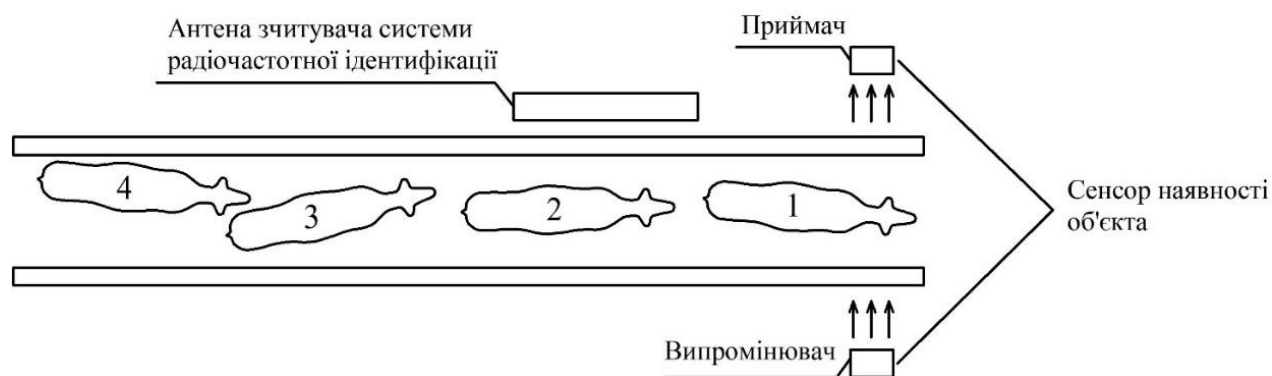


Рисунок 2. Рух потоку тварин вздовж антени зчитувача системи радіочастотної ідентифікації та сенсора наявності об'єкта

Рух тварин у потоці має випадковий характер, що зумовлено особливостями поведінки тварин. Вони можуть зупинятися, штовхатися, рухатись у зворотному напрямку, здійснювати хаотичні рухи, рухатись поперек потоку, присідати, піднімати або опускати голову. Типова часова діаграма вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта під час руху тварин у потоці наведена на рис. 3.

У роботах [11, 12] на основі експериментальних досліджень встановлено, що швидкість руху тварин у потоці становить 0,4–0,6 м/с, а середня довжина тварини складає 2,6 м. Під час проходження однієї тварини через робочу зону сенсора наявності об'єкта він формує сигнал, тривалість якого визначається виразом:

$$T_C = \frac{l_C}{v_C},$$

де  $l_C$  – довжина тварини;  
 $v_C$  – швидкість руху тварини.

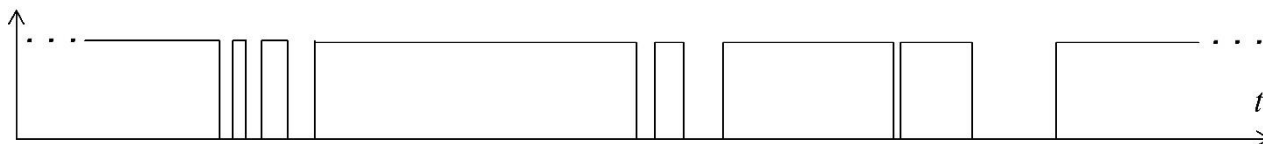


Рисунок 3. Типова часова діаграма вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта під час руху тварин у потоці

Внаслідок того, що характер руху окремих тварин у потоці залежить від великої кількості випадкових факторів, які слабо корельовані, і серед них немає домінуючих факторів, на підставі першої граничної теореми можна припустити, що тривалість імпульсного вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта є випадковою величиною, яка розподілена за нормальним законом з математичним очікуванням  $T_{CM}$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{CM}$ . Відповідно мінімальну  $T_{C\ MIN}$  та максимальну  $T_{C\ MAX}$  межі тривалості проходження однією твариною робочої зони доцільно встановити за правилом трьох сигм.

Взаємне розташування тварин під час їх руху у потоці впливає на достовірність ідентифікації їх проходження. У засобах [13, 14] для виявлення проходження тварини використовують такі критерії. Якщо рух тварин у потоці відбувається рівномірно, з проміжками між тваринами (див. тварин 1 та 2 на рис. 2), то кожній тварині відповідає окремий імпульсний вихідний сигнал сенсора наявності об'єкта. У цьому випадку ознакою проходження тварини є виконання умови:

$$T_C \in [T_{C\ MIN}; T_{C\ MAX}].$$

Якщо тварини у потоці рухаються одна за одною без проміжку, або вони суміщені, як тварини 3 та 4 на рис. 2, тоді ознакою проходження  $n_C$  тварин повз робочу зону сенсора наявності об'єкта є виконання співвідношення:

$$T_C \in [k_C n_C T_{C\ MIN}; k_C n_C T_{C\ MAX}],$$

де  $k_C$  – коефіцієнт, за допомогою якого враховується можливе суміщення тварин під час їх руху в потоці та різне значення швидкості руху окремих тварин.

Внаслідок того, що коефіцієнт  $k_C$  не є сталим, а має випадковий характер, можливе виникнення помилки виявлення проходження тварини у разі суміщення тварин під час руху або у разі руху однієї тварини упритул до іншої. З огляду на випадковий характер руху

тварин у потоці вихідний сигнал сенсора наявності об'єкта можна розглядати як суміш двох сигналів – корисного імпульсного сигналу  $s_M(t)$  та випадкового некорельованого імпульсного сигналу  $s_N(t)$ . Шляхом виявлення сигналу  $s_M(t)$  ідентифікується проходження тварини. Некорельована послідовність  $s_N(t)$  має рівномірний енергетичний спектр, що дає підстави розглядати її як білий шум.

Для підвищення достовірності виявлення проходження тварини під час її руху в потоці пропонується використати оптимальну лінійну фільтрацію. Розглянемо принцип роботи оптимального лінійного фільтра, який максимізує відношення сигнал-шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу.

Як відомо, комплексний енергетичний спектр сигналу  $s_M(t)$  визначається виразом:

$$S_M(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_M(t) e^{-j\omega t} dt,$$

де  $\omega$  – циклічна частота спектральних складових;  
 $j$  – уявна одиниця.

Шумовий сигнал  $s_N(t)$  має характер білого шуму з рівномірним енергетичним спектром:

$$W_N(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_N(t) e^{-j\omega t} dt = W_0.$$

Пікове значення сигналу на виході оптимального фільтра у момент часу  $t_0$  визначається узагальненим виразом:

$$s_P(t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega,$$

де  $S_M(\omega)$  – модуль комплексного енергетичного спектру корисного сигналу;  
 $K_{OPT}(\omega)$  – модуль комплексної передатної характеристики фільтра;  
 $\varphi_M(\omega)$  – фазова характеристика спектру корисного сигналу;  
 $\varphi_K(\omega)$  – фазо-частотна характеристика оптимального фільтра.

Середньоквадратичне значення шумового сигналу на виході оптимального фільтра визначається виразом:

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}.$$

Відповідно відношення сигнал-шум між піковим значенням корисного сигналу та середньоквадратичним значенням шумового сигналу дорівнює

$$R_{SN} = \frac{|s_P(t_0)|}{\sigma_N} = \frac{\left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|}{\sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}}. \quad (1)$$

Відповідно до нерівності Коші–Буняковського:

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|^2 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} S_M^2(\omega) d\omega \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega.$$

З урахуванням цієї нерівності вираз (1) можна представити у такому вигляді:

$$R_{SN} = \frac{\left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(\omega) e^{j(\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega))} d\omega \right|}{\sqrt{\frac{W_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K_{OPT}^2(\omega) d\omega}} \leq \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} S_M^2(\omega) d\omega}{2\pi W_0}}. \quad (2)$$

З виразу (2) випливає, що відношення сигнал-шум досягає максимуму, якщо нерівність трансформувати у рівність. Це відбудеться, якщо будуть виконані умови:

$$\omega t_0 + \varphi_M(\omega) + \varphi_K(\omega) = 0;$$

$$K_{OPT}(\omega) = A_0 S_M(\omega),$$

де  $A_0$  – постійний коефіцієнт.

Звідси випливає, що передатна функція оптимального лінійного фільтра має вигляд:

$$K_{OPT}(j\omega) = A_0 S_M(\omega) e^{-j\omega t_0} e^{-j\varphi_M(\omega)}. \quad (3)$$

Комплексно-спряжена відносно  $S_M(\omega)$  функція визначається виразом:

$$S_M^*(\omega) = S_M(\omega) e^{-j\varphi_M(\omega)}.$$

З огляду на це вираз (3) можна представити у вигляді:

$$K_{OPT}(j\omega) = A_0 S_M^*(\omega) e^{-j\omega t_0}.$$

Сигнал на виході оптимального лінійного фільтра визначається так:

$$s_F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_M(\omega) K_{OPT}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Під час проходження тварини корисний вихідний сигнал сенсора наявності об'єкта являє собою прямокутний імпульс певної тривалості  $T_C$ , яка залежить від швидкості руху і довжини тварини. Функція, яка описує цей сигнал, є такою:

$$s_M(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A, & 0 \leq t \leq T_C, \\ 0, & t > T_C \end{cases}$$

де  $A$  – рівень вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта.

Як відомо, передатна функція лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу визначається виразом:

$$K_{OPT}(j\omega) = \frac{A_0}{j\omega} (1 - e^{-j\omega T_{OPT}}), \quad (4)$$

де  $T_{OPT}$  – тривалість імпульсу, узгоджена з оптимальним лінійним фільтром.

Розглянемо рис. 4, на якому наведено структурну схему лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю  $T_{OPT}$ , який має передатну функцію, що визначається виразом (4).

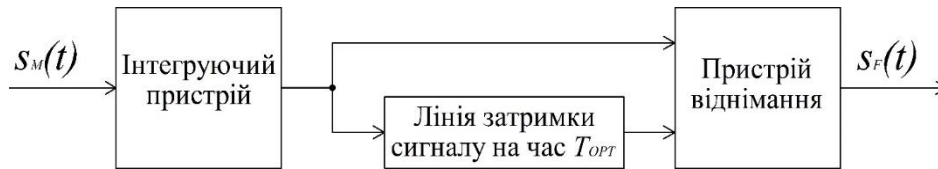


Рисунок 4. Структурна схема лінійного оптимального фільтра для прямокутного імпульсу тривалістю  $T_{OPT}$

Інтегруючий пристрій здійснює інтегрування вхідного сигналу  $s_M(t)$  та передає його на входи пристрою віднімання та лінії затримки сигналу на час  $T_{OPT}$ . На виході пристрою віднімання формується вихідний сигнал  $s_F(t)$ , який дорівнює різниці між інтегральною функцією вхідного сигналу та затриманою на час  $T_{OPT}$  інтегральною функцією вхідного сигналу. Якщо оптимальний фільтр узгоджений зі вхідним сигналом, тобто  $T_C = T_{OPT}$ , вихідний сигнал фільтра визначається виразом:

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_{OPT}; \\ A(T_{OPT} - t), & T_{OPT} \leq t < 2T_{OPT}; \\ 0, & t \geq 2T_{OPT}. \end{cases} \quad (5)$$

Пікове значення вихідного сигналу фільтра за  $T_C = T_{OPT}$  дорівнює:

$$s_{F OPT} = A \cdot T_{OPT}. \quad (6)$$

Відношення сигнал-шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра за  $T_C = T_{OPT}$  має максимальне значення та визначається виразом:

$$R_{SN OPT} = \frac{s_{P OPT}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_{OPT}}{\sigma_N}. \quad (7)$$

Позначимо через  $T_L$  тривалість вхідного сигналу оптимального лінійного фільтра, яка менша, ніж  $T_{OPT}$ . Якщо  $T_C = T_L < T_{OPT}$ , вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра визначається виразом:

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_L; \\ AT_L, & T_L \leq t < T_{OPT}; \\ A(T_L - t), & T_{OPT} \leq t < T_{OPT} + T_L; \\ 0, & t \geq T_{OPT} + T_L. \end{cases} \quad (8)$$

Пікове значення вихідного сигналу фільтра у цьому випадку:

$$s_{FL} = A \cdot T_L. \quad (9)$$

Якщо тривалість вхідного сигналу менша, ніж тривалість узгодженого сигналу, тоді відношення сигнал-шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра становить:

$$R_{SN L} = \frac{s_{PL}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_L}{\sigma_N}. \quad (10)$$

Позначимо через  $T_H$  тривалість вхідного сигналу оптимального лінійного фільтра, яка більша ніж  $T_{OPT}$ . У випадку  $T_C = T_H > T_{OPT}$  вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра визначається виразом:

$$s_F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ At, & 0 \leq t < T_{OPT}; \\ AT_{OPT}, & T_{OPT} \leq t < T_H; \\ A(T_H - t), & T_H \leq t < T_{OPT} + T_H; \\ 0, & t \geq T_{OPT} + T_H. \end{cases} \quad (11)$$

А пікове значення вихідного сигналу оптимального фільтра дорівнює:

$$s_{FH} = A \cdot T_{OPT}. \quad (12)$$

Якщо тривалість вхідного сигналу більша, ніж тривалість узгодженого сигналу, тоді відношення сигнал-шум у вихідному сигналі оптимального лінійного фільтра становить:

$$R_{SN H} = \frac{s_{PH}}{\sigma_N} = \frac{A \cdot T_{OPT}}{\sigma_N}. \quad (13)$$

Часові діаграми роботи оптимального лінійного фільтра для прямокутного імпульсу за різних значень тривалості вхідного сигналу наведені на рис. 5.

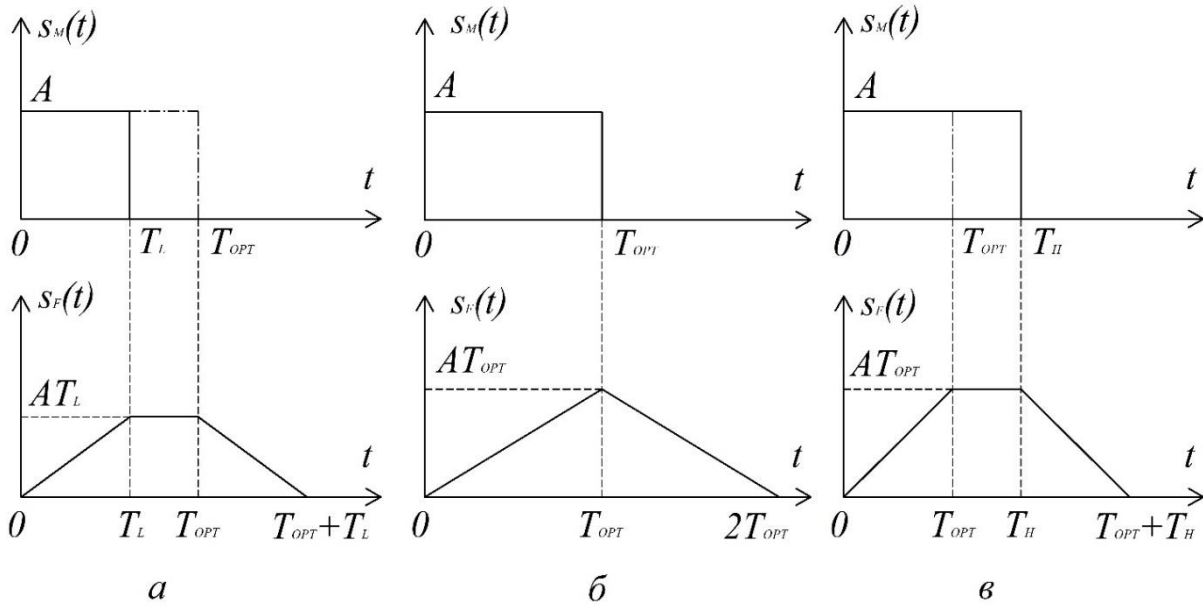


Рисунок 5. Часові діаграми роботи оптимального лінійного фільтра для прямокутного імпульсу: а) випадок  $T_C = T_L < T_{OPT}$ ; б) випадок  $T_C = T_{OPT}$ ; в) випадок  $T_C = T_H > T_{OPT}$

Як випливає з аналізу виразів (5)–(13) та рис. 4, за  $T_C = T_L < T_{OPT}$  вихідний сигнал оптимального фільтра являє собою трапецієвидну функцію, пікове значення якої менше, ніж за  $T_C = T_{OPT}$  та  $T_C > T_{OPT}$ . За  $T_C = T_{OPT}$  та  $T_C > T_{OPT}$  пікове значення вихідного сигналу оптимального фільтра досягає максимального значення та дорівнює  $A \cdot T_{OPT}$ . З огляду на це максимум відношення сигнал-шум у вихідному сигналі оптимального фільтра досягається, коли  $T_C = T_{OPT}$  і залишається таким самим за  $T_C > T_{OPT}$ . Отже, для досягнення максимального значення відношення сигнал-шум під час ідентифікації проходження тварини необхідно забезпечити виконання співвідношення  $T_{OPT} = T_{C MIN}$ .

Реалізація лінійного оптимального фільтра для ідентифікації проходження тварини забезпечується за допомогою методів цифрової обробки сигналів у режимі реального часу. В певні моменти часу  $t_1, t_2, t_3 \dots$  визначаються миттєві значення вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта  $s_M(t_1), s_M(t_2), s_M(t_3) \dots$  і за ними генерується інтерполююча функція

$$s_{AF}(t). \text{ Після цього обчислюються значення функцій } s_{IAF}(t) = \int_0^t s_{AF}(t)dt \text{ та}$$

$$s_{DIAF}(t) = s_{IAF}(t - T_{C MIN}).$$

Ознакою наявності сигналу, який відповідає проходженню тварини, є виконання рівності  $A \cdot T_{C MIN} = s_{IAF}(t) - s_{DIAF}(t)$ .

Як впливає з аналізу виразу (11) та рис. 4, за  $T_C = T_H > T_{OPT}$  вихідний сигнал оптимального лінійного фільтра досягає максимального значення  $A \cdot T_{OPT} = A \cdot T_{C MIN}$  протягом такого відрізка часу:  $T_{CH} = T_H - T_{C MIN}$ .

На основі результатів вимірювання часу  $T_{CH}$  ідентифікується проходження двох і більше тварин, якщо вони рухаються у потоці з суміщенням або без проміжку між ними. Якщо виконується співвідношення  $T_{CH} \in [T_{C MIN}; T_{C MAX}]$ , тоді приймається рішення про ідентифікацію проходження однієї тварини.

Якщо  $T_{CH}$  перевищує значення  $T_{C MAX}$ , а це відбувається під час руху тварин у потоці з суміщенням або без проміжку між ними, рішення про ідентифікацію проходження  $n_C \geq 2$  тварин приймається у випадку виконання співвідношення  $T_{CH} \geq n_C T_{CM}$ . Кількість тварин, проходження яких ідентифіковано, у цьому випадку визначається виразом:

$$n_C = \left\lfloor \frac{T_{CH}}{T_{CM}} \right\rfloor.$$

Після цього вищезазначені процедури починають виконуватися спочатку. Наслідком максимізації відношення сигнал-шум завдяки оптимальному лінійному фільтру є підвищення достовірності ідентифікації проходження тварини, порівняно з наявними способами.

### Експериментальні дослідження

Авторами створено макетний зразок для перевірки запропонованого алгоритму. Експериментальні дослідження макетного зразка проводилися на груповій доїльній установці типу «Ялинка-2×8», яка призначена для одночасного доїння 16 тварин. Експериментальне стадо складалося із 327 тварин. Для радіочастотної ідентифікації тварин використано панельний зчитувач PNL-4060-3 компанії Allflex та сенсор наявності об'єкта WE-T3AD компанії Highly Electric. Оптимальний лінійний фільтр реалізований програмно, на основі мікроконтролера ATmega8 виробництва Microchip Technology, Inc. Acquires Atmel.

У процесі проведення експерименту на одному проході доїльної установки був встановлений прилад БЦР-01 виробництва компанії ТОВ «Паллар» [14], до складу якого входить засіб підрахунку тварин у потоці, який не використовує оптимальну лінійну фільтрацію вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта. На другому проході був встановлений макетний дослідний зразок, який реалізований на основі оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта. Дослідження проводилися протягом 4 діб; доїння на фермі проводилося двічі на добу. Під час використання приладу БЦР-01 виявлялося 60–70% неідентифікованих тварин, за допомогою запропонованого макетного зразка вдалося виявити 80–90% неідентифікованих тварин.

## Висновки

Для підрахунку тварин у потоці запропоновано алгоритм та розроблено макетний зразок засобу виявлення входження тварини на групову доїльну установку з використанням оптимальної лінійної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта. Впровадження розробленого алгоритму забезпечує підвищення точності підрахунку тварин. Внаслідок цього збільшується кількість виявлених помилок радіочастотної ідентифікації та зменшується кількість втраченої інформації про параметри технологічного процесу виробництва коров'ячого молока на групових доїльних установках.

Під час використання наявних засобів виявлення проходження тварини внаслідок підрахунку тварин у потоці на групових установках вдається виявити 60–70% неідентифікованих тварин. Внаслідок проведених експериментів встановлено, що використання запропонованого макетного зразка дає змогу збільшити цей показник до 80–90%.

## Внесок авторів

Павло Кулаков є автором ідеї створення алгоритму виявлення входження тварини на групову доїльну установку із застосуванням лінійної оптимальної фільтрації вихідного сигналу сенсора наявності об'єкта; Володимир Кучерук апаратно реалізував макетний зразок засобу виявлення проходження тварини; Роман Лішук розробив програмне забезпечення для макетного зразка; Вікторія Маньковська та Анна Кулакова виконали експериментальні дослідження макетного зразка.

## Література

1. RFID journal LLC. URL: <http://www.rfidjournal.com>
2. Saha, H. N., Chakraborty, S., & Roy, R. (2021). Integration of RFID and sensors in agriculture using IOT. In *AI, edge and IoT-based smart agriculture* (pp. 361–372). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-823694-9.00004-9.
3. Ranches, J., De Oliveira, R. A., Vedovatto, M., Palmer, E. A., Moriel, P., & Arthington, J. D. (2021). Use of radio-frequency identification technology to assess the frequency of cattle visits to mineral feeders. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3). DOI: 10.1007/s11250-021-02784-2.
4. Achour, B., Belkadi, M., Saddaoui, R., Filali, I., Aoudjit, R., & Laghrouche, M. (2022). High-accuracy and energy-efficient wearable device for dairy cows' localization and activity detection using low-cost IMU/RFID sensors. *Microsystem Technologies*, 28(5), 1241–1251. DOI: 10.1007/s00542-022-05288-7.
5. Noinan, K., Wicha, S., & Chairicharoen, R. (2022). The IoT-based weighing system for growth monitoring and evaluation of fattening process in beef cattle farm. In *7th International Conference on Digital Arts, Media and Technology, DAMT 2022 and 5th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering, NCON 2022* (pp. 384–388). IEEE. DOI: 10.1109/ECTIDAMTNCN53731.2022.9720346.

6. Ding, X., Chen, L., & Gong, Y. (2019). An application of information collection method based on RFID and WSN technology in cow breeding. In *Proceedings of 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2019*, (pp. 2663–2666). IEEE. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8998074.
7. Кучерук, В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І. (2014). Підвищення достовірності ідентифікації тварин у інформаційно-вимірювальних системах контролю зоотехнічних параметрів. *Методи та прилади контролю якості*, 2(33), 115–122.
8. Кулаков, П. І. (2015). *Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння*. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 220 с.
9. Lancaster, P., Gyawali, P., Mavrogiannis, C., Srinivasa, S. S., & Smith, J. R. (2022). Optical proximity sensing for pose estimation during in-hand manipulation. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* (Vol. 2022 – October, pp. 11818–11825). DOI: 10.1109/IROS47612.2022.9981692.
10. Polikarpus, A., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., & De Rosa, G. (2014). Milking behaviour of buffalo cows: Entrance order and side preference in the milking parlour. *Journal of Dairy Research*, 81(1), 24–29. DOI: 10.1017/S0022029913000587.
11. Shepley, E., Lensink, J., & Vasseur, E. (2020). Cow in motion: A review of the impact of housing systems on movement opportunity of dairy cows and implications on locomotor activity. *Applied Animal Behaviour Science*, 230. DOI: 10.1016/j.applanim.2020.105026.
12. Su, L., Zhang, Y., Wang, J., Yin, Y., Zong, Z., & Gong, C. (2020). Segmentation method of dairy cattle gait based on improved dynamic time warping algorithm. *Nongye Jixie Xuebao Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 51(7), 52–59. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.07.007.
13. ПАТ “Брацлав” 01/05/2023. URL: <https://www.bratslav.com/>
14. Pallar LTD Co. & Musson Co. Корпоративний сайт компаній “Паллар ЛТД” та “Муссон”. 01/05/2023. URL: [www.pallar.com.ua](http://www.pallar.com.ua)

Рукопис отримано – 30/05/2023; прийнято до публікації – 26/06/2023.

- © Донецький національний університет імені Василя Стуса, 2023
- © Павло Кулаков, 2023
- © Володимир Кучерук, 2023
- © Роман Ліщук, 2023
- © Вікторія Маньковська, 2023
- © Анна Кулакова, 2023

## Algorithm for detecting the animal entry into the group milking plant

Pavlo Kulakov, Volodymyr Kucheruk, Roman Lishchuk, Wiktorija Mankovska, Anna Kulakova

### Abstract

Based on the results of previous studies, it is known that in the case of errors in the radio frequency identification of animals during movement, when they enter the group milking plant, the information about the indicators of the technological process of milking, which concerns all animals in the group, is under high risk of lost. This circumstance is because the number of the milking machines of the group milking plant strictly corresponds to the number of animals in the queue for the plant. When a radio frequency identification error occurs, information about the fact of the animal's entry is lost, as a result, the server of the information system receives incorrect information about the correspondence of the animal's numbers in the herd to the numbers of the milking machines of the group milking plant. This leads to the fact that the results of measuring zootechnical parameters of animals and parameters of the technological process of milking are obtained with a false correspondence to herd numbers of animals. To prevent such information losses at group milking plants some means of counting the animals in the stream are used. Therefore, an important factor for obtaining reliable information about the parameters of the milk production technological process at group milking plants is the accurate counting of the animals during their movement to the milking machines. Existing means of counting animals are based on the interruption of the flow of infrared radiation by animals during movement and do not always ensure their accurate counting. To detect the errors in the radio frequency identification of moving animals on group milking plants, an algorithm based on optimal linear filtering of the output signal of the object presence sensor and a means of detecting the entry of animals to count them in the stream is proposed. As a result of the implementation of this algorithm, an increase in the accuracy of animal counting is ensured. The proposed algorithm detects more errors of radio frequency identification that leads to an increase in the reliability of the obtained information relative to the parameters of cow's milk production technological process at group milking plants.

**Keywords:** information system, livestock farm, optimal filtering, identification, animal entry.

### References

1. RFID journal LLC. URL: [http:// www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com)
2. Saha, H. N., Chakraborty, S., & Roy, R. (2021). Integration of RFID and sensors in agriculture using IOT. In *AI, edge and IoT-based smart agriculture* (pp. 361–372). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-823694-9.00004-9.
3. Ranches, J., De Oliveira, R. A., Vedovatto, M., Palmer, E. A., Moriel, P., & Arthington, J. D. (2021). Use of radio-frequency identification technology to assess the frequency of cattle visits to mineral feeders. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3) DOI: 10.1007/s11250-021-02784-2.
4. Achour, B., Belkadi, M., Saddaoui, R., Filali, I., Aoudjit, R., & Laghrouche, M. (2022). High-accuracy and energy-efficient wearable device for dairy cows' localization and activity detection using low-cost IMU/RFID sensors. *Microsystem Technologies*, 28(5), 1241-1251. DOI: 10.1007/s00542-022-05288-7.
5. Noinan, K., Wicha, S., & Chaisricharoen, R. (2022). The IoT-based weighing system for growth monitoring and evaluation of fattening process in beef cattle farm. In *7th International Conference on Digital Arts, Media and Technology, DAMT 2022 and 5th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering, NCON 2022* (pp. 384–388). IEEE. DOI: 10.1109/ECTIDAMTNCN53731.2022.9720346.
6. Ding, X., Chen, L., & Gong, Y. (2019). An application of information collection method based on RFID and WSN technology in cow breeding. In *Proceedings of 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2019*, (pp. 2663–2666). IEEE. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8998074.
7. Kucheruk, V. Yu., Palamarchuk, Ye. A., Kulakov, P. I. (2014). Pidvyshchennia dostovirnosti identyfikatsii tvaryn u informatsiino-vymiriuvalnykh systemakh kontroliu zootekhnichnykh parametriv. *Metody ta pryklady kontroliu yakosti*, 2(33), 115–122 [in Ukrainian].

8. Kulakov, P. I. (2015). *Elementy teorii vymiriuvalnoho kontroliu parametriv biotekhnichnoi systemy doinnia*. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 220 p. [in Ukrainian].
9. Lancaster, P., Gyawali, P., Mavrogiannis, C., Srinivasa, S. S., & Smith, J. R. (2022). Optical proximity sensing for pose estimation during in-hand manipulation. In *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* (Vol. 2022 – October, pp. 11818–11825). DOI: 10.1109/IROS47612.2022.9981692.
10. Polikarpus, A., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., & De Rosa, G. (2014). Milking behaviour of buffalo cows: Entrance order and side preference in the milking parlour. *Journal of Dairy Research*, 81(1), 24–29. DOI: 10.1017/S0022029913000587.
11. Shepley, E., Lensink, J., & Vasseur, E. (2020). Cow in motion: A review of the impact of housing systems on movement opportunity of dairy cows and implications on locomotor activity. *Applied Animal Behaviour Science*, 230. DOI: 10.1016/j.applanim.2020.105026.
12. Su, L., Zhang, Y., Wang, J., Yin, Y., Zong, Z., & Gong, C. (2020). Segmentation method of dairy cattle gait based on improved dynamic time warping algorithm. *Nongye Jixie Xuebao Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 51(7), 52–59. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.07.007.
13. PJSC “Bratslav”. 01/05/2023. URL: <https://www.bratslav.com/>
14. Pallar LTD Co. & Musson Co. Corporate website of the companies “Паллар ЛТД” and “Муссон”. 01/05/2023. URL: [www.pallar.com.ua](http://www.pallar.com.ua)