

УДК 681.586

В. Ю. КУЧЕРУК, П. І. КУЛАКОВ, Д. В. МОСТОВИЙ<sup>1</sup>

## ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ МОЛОКА

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

**Анотація.** У статті розглядається фотоелектричний вимірювальний перетворювач параметрів потоку молока, за допомогою якого забезпечується пряме вимірювання інтенсивності потоку та непряме вимірювання інших параметрів молоковіддачі. Перспективним є використання вищевказаного вимірювального перетворювача на стійлових доїльних установках у складі доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

**Ключові слова:** потік молока, інтенсивність молоковіддачі, управління процесом доїння, параметри молоковіддачі.

**Аннотация.** В статье рассмотрен фотоэлектрический измерительный преобразователь параметров потока молока, с помощью которого обеспечивается прямое измерение интенсивности потока и не прямое измерение других параметров молокоотдачи. Перспективным является использование вышеуказанного измерительного преобразователя на стойловых доильных установках в составе доильных аппаратов с функцией управления процессом доения.

**Ключевые слова:** поток молока, интенсивность молокоотдачи, управление процессом доения, параметры молокоотдачи.

**Abstract.** In the article the photoelectric milk flow parameters transducer which provides a direct measurement of the flow rate and the indirect measurement of other parameters of milking is considered. Promising is the use of the above transmitter at stall milking installations as part of a milking machine with milking management function.

**Keywords:** milk flow, rate of milk, milking control, milk yield parameters.

### ВСТУП

На території України найбільш розповсюдженими є стійлові доїльні установки, у складі яких використовуються переносні доїльні апарати без можливості управління процесом доїння. Такі апарати забезпечують один незмінний режим доїння для усіх тварин, який не є оптимальним і не відповідає біологічним механізмам молокоутворення та молоковіддачі. Це призводить до зниження удою, підвищення імовірності захворювання тварин та інших негативних наслідків [1]. Виходячи з цього, актуальною є розробка вітчизняного доїльного апарату для стійлового молокопроводу, який забезпечуватиме оптимальний режим доїння. Швидкість молоковіддачі в кожній тварині різна, що потребує індивідуального налаштування доїльного апарату в усіх фазах доїння, яке здійснюється на основі результатів вимірювання інтенсивності молоковіддачі [2]. Окрім того, на основі результатів прямого вимірювання інтенсивності молочного потоку, непрямо вимірюються такі важливі зоотехнічні параметри, як загальний удій, середня інтенсивність молоковіддачі, інтенсивність молоковіддачі протягом перших тридцяти секунд після початку доїння, інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння, інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння, контролюється час припуску [1]. Метою статті є подальший розвиток теорії та практики розробки та аналізу фотоелектричних вимірювальних перетворювачів параметрів молочного потоку.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Доїльний апарат з функцією керування процесом доїння, змінюючи режими пульсацій вакууму в залежності від інтенсивності молоковіддачі, налаштовується на фізіологічні особливості конкретної тварини. Вимірюючи інтенсивність молоковіддачі і здійснюючи у відповідності з її значенням управління процесом доїння, можна забезпечити його наближення до оптимального [3]. При прив'язному утриманні, на стійлових доїльних установках, індивідуальний удій та інші індивідуальні параметри тварин як правило не вимірюються. У цьому випадку, перспективним є непряме вимірювання цих

<sup>1</sup> © В. Ю. КУЧЕРУК, П. І. КУЛАКОВ, Д. В. МОСТОВИЙ, 2017

параметрів на основі результатів прямого вимірювання інтенсивності молоковіддачі, результати якого використовуються для управління процесом доїння.

Розглянемо запропонований фотоелектричний вимірювальний перетворювач параметрів потоку молока, функціональна схема якого наведена на рис. 1, а часові діаграми роботи – на рис. 2. В процесі доїння молоко з колектора доїльного апарата на шляху до молокопроводу проходить через шланг, у якому закріплений фотоелектричний вимірювальний перетворювач параметрів потоку молока. Вимірювальний перетворювач складається з двох джерел інфрачервоного випромінювання, які знаходяться з однієї сторони його трубки, двох фотоприймачів F1 та F2 на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, які знаходяться на протилежній стороні трубки, двох порогових пристроїв C1 та C2 з великим значенням гістерезису, мікроконтролера. Вихідна напруга фотоприймачів F1 та F2 прямо пропорційна потоку світлового випромінювання, що падає на фоточутливий шар фотодіода [4].

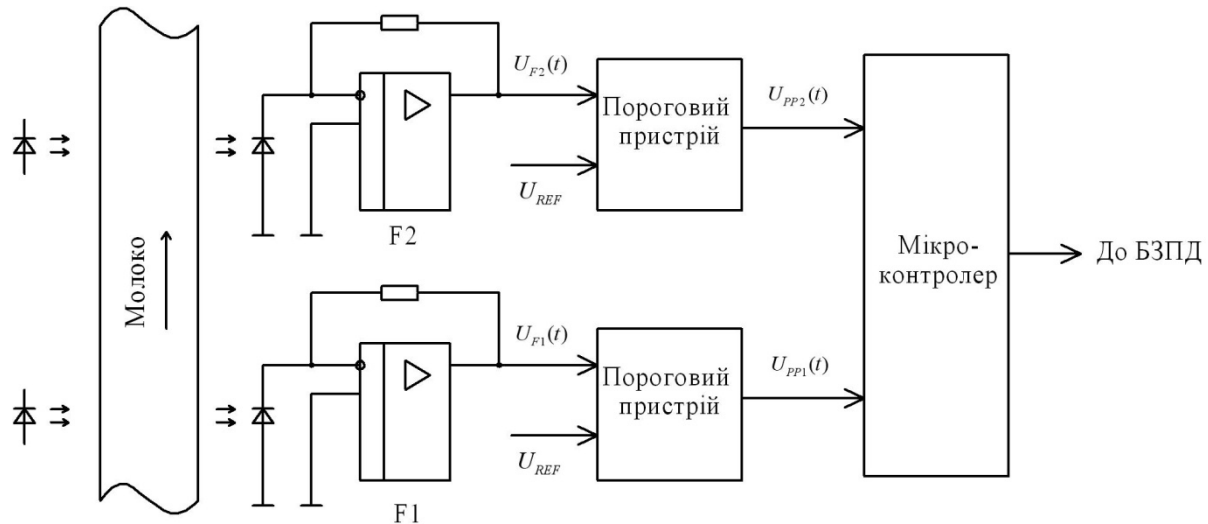


Рис. 1. Функціональна схема фотоелектричного вимірювального перетворювача параметрів потоку молока

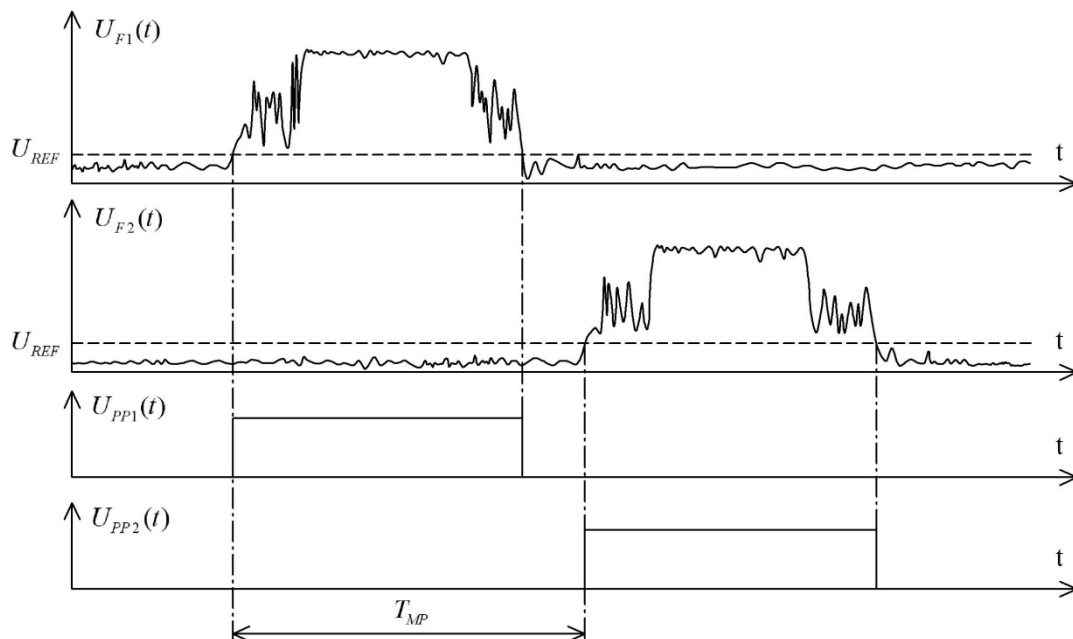


Рис. 2. Часові діаграми роботи фотоелектричного вимірювального перетворювача параметрів потоку молока

Молоко, яке протікає через трубку вимірювального перетворювача, завжди має бульбашки повітря (піну). При проходженні через трубку молока з піною, потік інфрачервоного випромінювання проходить крізь певну бульбашку повітря і потрапляє на фотоприймач F1. В результаті його вихідна напруга  $U_{F1}(t)$  збільшується, за допомогою порогового пристрою C1 вона порівнюється з напругою

UREF. На виході порогового пристрою C1, протягом часового проміжку, коли  $UF1(t) > UREF$ , формується прямокутний імпульс  $UPP1(t)$ , який надходить на дискретний вхід мікроконтролера. Після цього, вказана вище бульбашка, рухаючись разом з молочним потоком, проходить навпроти фотоприймача F2. Внаслідок цього вихідна напруга  $UF2(t)$  збільшується. Пороговий пристрій C2 порівнює напругу  $UF2(t)$  з UREF, в результаті на його виході, коли  $UF1(t) > UREF$ , формується прямокутний імпульс  $UPP2(t)$ , який надходить на інший вхід мікроконтролера. За допомогою мікроконтролера здійснюється вимірювання часового інтервалу  $TMP$  між передніми фронтами імпульсів  $UPP1(t)$  та  $UPP2(t)$ . Цей часовий інтервал відповідає проходженню бульбашкою повітря відстані  $IMP$  між двома фотоприймачами. Об'єм  $i$ -ї порції молока, яка відповідає проходженню бульбашкою повітря відстані  $IMP$ , визначається виразом

$$V_{MP\ i} = \frac{1}{4} \pi D_{MP}^2 l_{MP} \quad (1)$$

де  $D_{MP}$  – діаметр трубки вимірювального перетворювача.

Відповідно, миттєва інтенсивність молоковіддачі під час проходження  $i$ -ї бульбашки повітря, визначається виразом

$$I_{MV\ i} = \frac{V_{MP\ i}}{T_{MP\ i}} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4 T_{MP\ i}} l_{MP} \quad (2)$$

Визначене за допомогою мікроконтролера миттєве значення інтенсивності молоковіддачі передається до блоку забезпечення процесу доїння (БЗПД).

У більшості доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння існує певна кількість режимів роботи, зміна яких відбувається за досягненням миттєвої інтенсивності молоковіддачі певних порогових значень, тобто здійснюється дискретне управління процесом доїння [5].

В результаті експериментальних досліджень розробленого фотоелектричного вимірювального перетворювача встановлено, що відносно середньоквадратичне значення похибки первинного перетворення не перевищує 15 %, похибка розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Досягнута точність вимірювального перетворення достатня для забезпечення керування процесом доїння та для вимірювання і контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока у стійловій лінії стійлової доїльної установки.

За допомогою розглянутого фотоелектричного вимірювального перетворювача параметрів потоку молока можливе непряме вимірювання інших параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока. Внаслідок великого значення похибки первинного перетворення, точність вимірювання цих параметрів невисока, але для доїльних установок невисокої цінової категорії достатня.

Розглянемо вимірювання разового удою тварини та інших параметрів молоковіддачі при використанні запропонованого фотоелектричного вимірювального перетворювача параметрів потоку молока. Протягом процесу доїння вимірюється поточний час та проводиться  $N_{MP}$  вимірювань миттєвої інтенсивності молоковіддачі  $I_{MV\ i}, I_{MV\ i+1} \dots I_{MV\ N_{MP}}$  в певні моменти часу  $t_i, t_{i+1} \dots t_{N_{MP}}$ . Проведемо кусочно-лінійну інтерполяцію результатів вимірювання залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу [6]. Кусочно-лінійна інтерполююча функція залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу, графік якої наведений на рис. 3, визначається виразом

$$I_{MV}(t) = \begin{cases} \frac{I_{MV\ 2} - I_{MV\ 1}}{t_2 - t_1} t + I_{MV\ 1} - \frac{I_{MV\ 2} - I_{MV\ 1}}{t_2 - t_1} t_1, & t \in [t_1, t_2]; \\ \dots \\ \frac{I_{MV\ i+1} - I_{MV\ i}}{t_{i+1} - t_i} t + I_{MV\ i} - \frac{I_{MV\ i+1} - I_{MV\ i}}{t_{i+1} - t_i} t_i, & t \in [t_i, t_{i+1}]; \\ \dots \\ \frac{I_{MV\ N_{MP}} - I_{MV\ N_{MP}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}} t + I_{MV\ N_{MP}-1} - \frac{I_{MV\ N_{MP}} - I_{MV\ N_{MP}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}} t_{N_{MP}-1}, & t \in [t_{N_{MP}-1}, t_{N_{MP}}]. \end{cases} \quad (3)$$

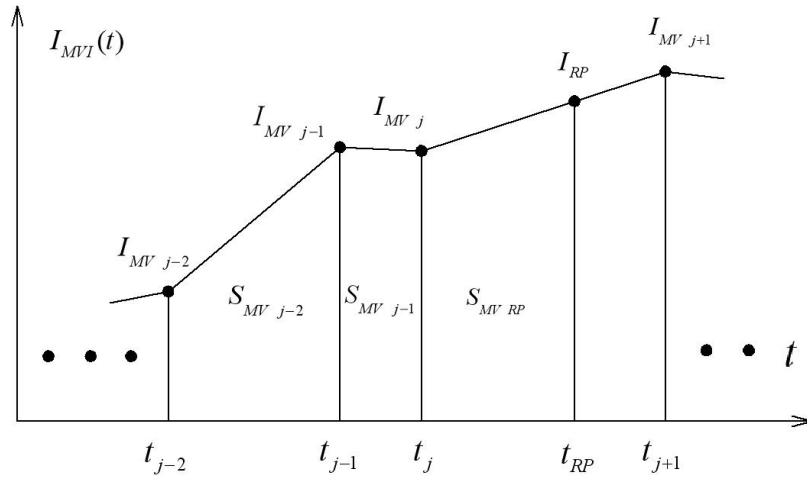


Рис. 3. Кусочно-лінійна інтерполююча функція залежності миттєвої інтенсивності молоковіддачі від часу

Інтенсивність молоковіддачі є першою похідною залежності поточного удою від часу. Виходячи з цього, у відповідності з правилом трапецій, отримуємо вираз, який визначає разовий удій тварини протягом одного доїння

$$V_R = \int_0^{t_{NMP}} I_{MVI}(t) dt = \sum_{i=1}^{NMP-1} \frac{I_{MV i+1} + I_{MV i}}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (4)$$

Як слідує з рис. 3, поточний удій тварини у довільний момент часу  $t_{RP} \in (t_j, t_{j+1})$ , у відповідності з правилом трапецій [7], визначається виразом

$$V_{RP}(t_{RP}) = \int_0^{t_{RP}} I_{MVI}(t) dt = S_{MV RP} + \sum_{i=1}^{j-1} S_{MV i} = \int_{t_j}^{t_{RP}} \left( \frac{I_{MV j+1} - I_{MV j}}{t_{j+1} - t_j} t + I_{MV j} - \frac{I_{MV j+1} - I_{MV j}}{t_{j+1} - t_j} t_j \right) dt + \quad (5)$$

$$+ \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV i+1} + I_{MV i}}{2} (t_{i+1} - t_i) = \frac{I_{MV j} + I_{MVI}(t_{RP})}{2} (t_{RP} - t_j) + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV i+1} + I_{MV i}}{2} (t_{i+1} - t_i),$$

де  $S_{MV RP}$ ,  $S_{MV i}$  - площини обмежені віссю абсцис та відрізками кусочно-лінійної інтерполюючої функції.

Значення кусочно-лінійної інтерполюючої функції в довільний момент часу  $t_{RP}$  визначається виразом

$$I_{MVI}(t_{RP}) = \frac{I_{MV j+1} - I_{MV j}}{t_{j+1} - t_j} t_{RP} + I_{MV j} - \frac{I_{MV j+1} - I_{MV j}}{t_{j+1} - t_j} t_j. \quad (6)$$

Підставивши (6) в (5), після відповідних перетворень отримуємо кінцевий вираз для визначення поточного удою тварини у довільний момент часу  $t_{RP} \in (t_j, t_{j+1})$  на основі результатів вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі протягом доїння

$$V_{RP}(t_{RP}) = \frac{1}{2} \left( 2I_{MV j} (t_{RP} - t_j) + \frac{I_{MV j+1} - I_{MV j}}{t_{j+1} - t_j} (t_{RP} - t_j)^2 \right) + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{I_{MV i+1} + I_{MV i}}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (7)$$

На основі результатів вимірювання поточного удою в довільний момент часу визначаються інші параметри молоковіддачі. Разовий удій тварини визначається за виразом (4), середня інтенсивність молоковіддачі визначається за виразом

$$I_{MS} = \frac{V_R}{t_D}, \quad (8)$$

де  $t_D$  - тривалість доїння тварини.

Після того, як за виразом (7) буде визначений поточний удій у відповідні моменти часу, інтенсивність молоковіддачі на протязі перших тридцяти секунд після початку доїння визначається за виразом

$$I_{30} = \frac{V_{M30}}{T_{30}}, \quad (9)$$

де  $V_{M30}$  - удій тварини на тридцятій секунді після початку доїння;  $T_{30}$  - часовий інтервал тривалістю тридцять секунд.

Інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння визначається за виразом

$$I_{60} = \frac{V_{M60} - V_{M30}}{T_{30}}, \quad (10)$$

де  $V_{M60}$  - удій тварини на шістдесятій секунді після початку доїння.

Інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння визначається за виразом

$$I_{90} = \frac{V_{M90} - V_{M60}}{T_{30}}, \quad (11)$$

де  $V_{M90}$  - удій тварини на дев'яностах секундах після початку доїння.

Для контролю часу припуску, за виразом (7) визначається поточний удій тварини на двадцятій секунді після початку доїння. Якщо кількість молока, отриманого на цей момент часу, менша ніж сто грамів, час припуску не відповідає нормі [8].

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач параметрів молочного потоку, за допомогою якого, шляхом непрямих вимірювань, на основі прямого вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі, визначаються інші параметри молоковіддачі та забезпечується управління процесом доїння. Запропонований вимірювальний перетворювач призначений для використання у доїльних установках низької цінової категорії. Окрім того, можливе використання такого перетворювача для вимірювання та контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока у стійловій лінії стійлової доїльної установки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фененко, А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика. / А. І. Фененко –К. : ННЦ «ІАЕ», 2008. – 198 с.
2. Кулаков, П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
3. Дмитрів, В. Т. Основи теорії машинвикористання у тваринництві / В. Т. Дмитрів. – Львів, 2008. – 260 с.
4. Кучерук, В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа–напруга / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь, Ю. Є. Блохін // Міжнародний науково–технічний журнал "Оптико–електронні інформаційно–енергетичні технології". – 2014. – № 1 (27). – с. 139 – 145.
5. Ревенко, І. І. Машинвикористання у тваринництві: підруч. для студ. аграрних вузів / І. І. Ревенко [та ін] ; ред. І. І. Ревенко. – К. : Урожай, 1999. – 207 с.
6. Горбійчук, М. І. Числові методи і моделювання на ЕОМ / М. І. Горбійчук, Є. П. Пістун. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 408 с.
7. Шрюфер, Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів / Е. Шрюфер. ; за ред. В. П. Бабака. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.
8. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.

## REFERENCES

1. Fenenko, A. Mechanization of milking cows. Theory and practice. / A. I. Fenenko –K. : NNT «IAE», 2008. – 198 p.
2. Kulakov, P. I. Elements of the theory of biotechnical milking system measuring control / P. I. Kulakov. – Vinnitsia : VSTU, 2015. – 220 p.
3. Dmytriv, V. Basic theory of machines in cattle / V. T. Dmytriv. – Lviv, 2008. – 260 p.
4. Kucheruk, V. Photoelectric conversion area measuring-voltage / V. Kucheruk, E. Palamarchuk, P. Kulakov, T. Gnes, Y. Blokhin // International scientific journal "Optoelectronic information-power technologies." - 2014. - № 1 (27). - 139 – 145 p.
5. Revenko, I. Using machines in cattle: a textbook for students of agricultural universities / I. I. Revenko [etc] ; Ed. I. I. Revenko. – K. : Urozhay, 1999. – 207 p.
6. Gorbichuk, M. Numerical methods and computer modeling / M. I. Gorbichuk, E. P. Pistun. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2010. – 408 p.
7. Shrufer, E. Signal processing: digital processing of sampled signals / E. Shrufer. ; Ed. V. Babak. – K.: Lybid, 1992. – 296 p.
8. Tsoy, Y. A. (2010) Processes and equipment of milk departments of farms. M.: GNU VIESH, 424.  
Надійшла до редакції 9.04.2017 р.

**КУЧЕРУК ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ** – д.т.н., професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна

**КУЛАКОВ ПАВЛО ІГОРОВИЧ** – д.т.н., професор кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна

**МОСТОВИЙ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ** – аспірант кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна