

УДК 681.586

ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЮ МОЛОКА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ДОІЛЬНОГО АПАРАТУ СТІЙЛОВОЇ УСТАНОВКИ

В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь

СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ МОЛОКА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ДОИЛЬНОГО АППАРАТА СТОЙЛОВОЙ УСТАНОВКИ

В. Ю. Кучерук, Е. А. Паламарчук, П. И. Кулаков, Т. В. Гнесь

MEANS OF MILK LEVEL MEASURING FOR PORTABLE FARMYARD MILKING MACHINE

V. Kucheruk, Y. Palamarchuk, P. Kulakov, T. Gnes

Проведено теоретичне дослідження фотоелектричного перетворювача світлового потоку в напругу на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. На його основі запропоновано вимірвальний перетворювач та засіб вимірювання рівню молока і зоотехнічних параметрів для переносного доїльного апарату. Визначено абсолютну методичну похибку вимірального перетворення та абсолютну похибку вимірювання рівню. Результати теоретичних досліджень підтверджено експериментальними даними.

Ключові слова: рівень молока, вимірвальний перетворювач рівню, переносний доїльний апарат, машинне доїння.

Проведено теоретическое исследование фотоэлектрического преобразователя светового потока в напряжение на основе пары фотодиод-операционный усилитель. На его основе предложен измерительный преобразователь и средство измерения уровня молока и зоотехнических параметров для переносного доильного аппарата. Определена абсолютная методическая погрешность измерительного преобразования и абсолютная погрешность измерения уровня. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными данными.

Ключевые слова: уровень молока, измерительный преобразователь уровня, переносной доильный аппарат, машинное доение.

1. Вступ

На сучасних доїльних установках використовується великий асортимент високотехнологічних доїльних машин, алгоритм роботи яких відповідає фізіологічним механізмам молокоутворення і молоковіддачі тварини та забезпечує оптимальний режим процесу доїння. Таке обладнання використовується в основному для молочних ферм з безприв'язним утриманням тварин, які оснащені доїльними залами різних типів з

стаціонарними доїльними станками. Найчастіше, для вимірювання удою та інших зоотехнічних параметрів, на стаціонарних доїльних станках у доїльних залах використовують ковшовий вимірювальний перетворювач або спеціалізовані оптичні вимірювальні перетворювачі. Вони забезпечують високоточне вимірювання удою, тривалості доїння, інтенсивності потоку молока та інших зоотехнічних параметрів, які необхідні для систем автоматичного управління молочними відділеннями тваринницьких ферм та реалізації алгоритму оптимального доїння. Але їх використання у переносних доїльних апаратах неможливе внаслідок певних конструктивних особливостей.

Найбільш розповсюдженими у світі є стійлові доїльні установки, які використовуються при прив'язному утриманні тварин. Як правило, на таких установках використовуються переносні доїльні апарати без функції керування процесом доїння. Тобто такі апарати забезпечують один незмінний режим доїння для всіх тварин, який не є оптимальним і не відповідає біологічним механізмам молокоутворення та молоковіддачі. Це призводить до зниження удою, підвищення захворюваності тварин та до інших негативних наслідків.

В останній час виробники доїльної техніки все частіше пропонують переносні доїльні апарати для стійлових установок з функцією керування процесом доїння. У таких апаратах для вимірювання удою, інтенсивності молоковіддачі та інших зоотехнічних параметрів використовуються ультразвукові, оптичні, механічні первинні вимірювальні перетворювачі. Як показує практика, їх точність при використанні у такому доїльному обладнанні достатня для реалізації функції керування процесом доїнням, який є робастним процесом, але вони не забезпечують достатню точність вимірювання зоотехнічних параметрів тварин, необхідних для систем автоматичного управління молочними відділеннями тваринницьких ферм. Виходячи з цього, розробка високоточного засобу вимірювання зоотехнічних параметрів для переносного доїльного апарату є актуальним завданням. Проведені дослідження відносяться до теорії та практики проектування, модернізації і автоматизації молочних відділень тваринницьких ферм.

2. Постановка проблеми

В теперішній час молочно-доїльні відділення тваринницьких ферм не можуть ефективно функціонувати без систем автоматичного управління технологічним процесом, до складу яких входять інформаційно-вимірювальні системи зоотехнічних параметрів тварин та інформаційно-вимірювальні системи параметрів технологічного процесу отримання молока. Окрім того, актуальним є завдання модернізації існуючих стійлових доїльних установок шляхом їх реконструкції та впровадження вищевказаних систем. Невід'ємною складовою інформаційно-вимірювальної системи зоотехнічних параметрів тварин на стійловій доїльній установці є доїльний апарат з функцією керування процесом доїння. Такий апарат здійснює вимірювання поточного та загального удою, інтенсивність молочного потоку, тривалість доїння та інші

зоотехнічні параметри. На основі результатів вимірювання здійснюється управління пульсаціями вакууму у доїльних стаканах з метою забезпечення оптимального режиму доїння. Також, ці результати вимірювання використовуються в системі автоматичного управління молочно-доїльним відділенням ферми.

Сучасні переносні доїльні апарати для стійлової доїльної установки забезпечують вимірювання зоотехнічних параметрів тварин з точністю, яка необхідна для реалізації наближеного до оптимального режиму доїння. Але досягнута точність недостатня для відмови від трудомісткої процедури періодичних контрольних доїнь, які проводять за допомогою спеціалізованих засобів вимірювання з метою розрахунку та прогнозування певних зоотехнічних параметрів. Окрім того, наслідком підвищення точності вимірювання буде подальша оптимізація процесу доїння.

Перспективним є непряме вимірювання удою та інших вторинних зоотехнічних параметрів на основі прямого вимірювання рівню молока у молокоприймальній камері доїльного апарату, що зумовлює необхідність розробки спеціалізованого первинного вимірювального перетворювача рівню та засобу вимірювання на його основі. Для використання у доїльному обладнанні бажано використовувати безконтактні вимірювальні перетворювачі, наприклад фотоелектричні, у яких відсутні рухомі частини. Дана обставина зумовлена тим, що наявність рухомих частин значно погіршує якість промивки, внаслідок чого збільшується бактеріальна заплідненість молока. Для вирішення цієї задачі необхідно встановити теоретичну залежність між вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач і освітлюваною площею фоточутливого шару фотодіоду, та створити на її основі первинний вимірювальний перетворювач рівню молока з лінійним рівнянням перетворення. На основі створеного вимірювального перетворювача необхідно реалізувати засіб вимірювання рівню молока в молокоприймальній камері переносного доїльного апарату. Для проведення теоретичних досліджень похибки вимірювання удою та інших зоотехнічних параметрів на основі прямого вимірювання рівню молока необхідно отримати теоретичні залежності абсолютної методичної складової похибки первинного вимірювального перетворення рівню та абсолютної похибки вимірювання рівню від зовнішніх факторів та параметрів складових елементів перетворювача та засобу вимірювання.

3. Літературний огляд

У роботі [1] розглянуто оптичний первинний вимірювальний перетворювач інтенсивності потоку молока для переносного доїльного апарату.

При його використанні неможливо забезпечити високу точність вимірювання удою внаслідок значного впливу на результат вимірювання піни та пазирів повітря, які обов'язково виникають на виході колектора. Окрім

того, додаткову похибку вносить нерівномірність потоку молока та немінуча зміна геометричних розмірів та форми бульбашок повітря.

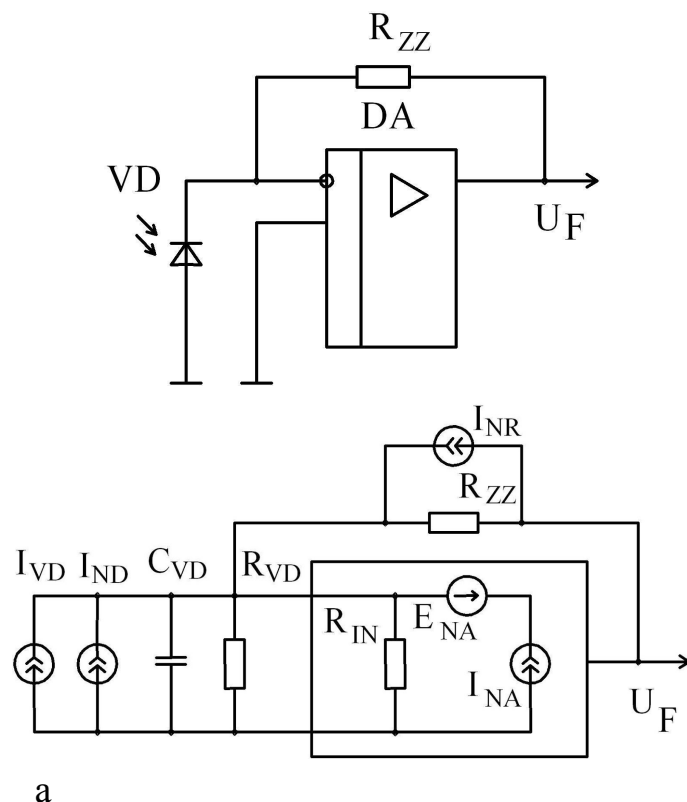
У оптичного кореляційного витратоміру молока, який пропонується у [2], похибка вимірювання значно збільшується при великих значеннях молочного потоку та при наявності у ньому піни та бульбашок повітря. Це пов'язано з тим, що вихідні сигнали його розташованих на певній відстані фотоприймачів, які корелюються, у цих умовах втрачають подібність.

При використанні ротаційних витратомірів [3] для вимірювання інтенсивності молочного потоку та удою, виникає швидко їх забруднення молочним каменем, що приводить до збільшення похибки вимірювання та відмов. Окрім того, за допомогою існуючих технічних та хімічних засобів, неможливо забезпечити їх якісне післядоїльне промивання. Це приводить до збільшення бактеріальної заплідненості молока і, відповідно, до зниження його якості і закупівельної ціни.

Використання ультразвукових витратомірів [4] для вимірювання удою та інтенсивності молочного потоку виявилось неефективним внаслідок значного збільшення похибки вимірювання внаслідок наявності бульбашок та піни, а також великого значення похибки вимірювання при малих потоках молока.

4. Теоретичне дослідження фотоелектричного перетворювача світлового потоку в напругу та засобу вимірювання рівню на його основі

Розглянемо фотоприймач на основі пари фотодіод - операційний підсилювач. На рис. 1, а наведено його електричну принципову схему, а на рис. 1, б – еквівалентну схему.



а

б

Рис. 1. Фотоприймач на основі пари фотодіод-операційний підсилювач: а – електрична принципова схема, б – еквівалентна схема

У наведеній на рис. 1, а схемі фотодіод VD діє як генератор струму, а операційний підсилювач DA, охоплений зворотнім зв'язком, перетворює цей струм у напругу. Залежність струму, що протікає через фотодіод, від потоку опромінення, описується виразом [5]

$$I_{ph} = I_{d0} + S_{ph} \Phi - \frac{q}{h\nu} I_{ph} U_{ph} \quad (1)$$

де I_{ph} – струм фотодіоду; S_{ph} – інтегральна струмова чутливість фотодіоду при немодульованому опроміненні; Φ – потік опромінення; I_{d0} – темновий струм фотодіоду; U_{ph} – падіння напруги на фотодіоді; T – абсолютна температура; k – постійна Больцмана; q – заряд електрону; ω – циклічна частота модуляції потоку опромінення; τ – постійна часу фотодіоду, яка залежить від значень внутрішнього опору фотодіоду R_{ph} та паразитної ємності фотодіоду C_{ph} .

При використанні джерела світла з конденсорною лінзою, можна отримати плоско-паралельний потік опромінення, однаковий на всій площині. У цьому випадку потік опромінення та площа фоточутливого шару фотодіоду, що опромінюється, зв'язані співвідношенням [6]:

$$\Phi = \frac{P}{\pi r^2} \quad (2)$$

де P – інтенсивність світлового потоку, r – відстань до джерела світла, що освітлюється, S_{ph} – освітлювана площа фоточутливого шару, P_0 – сила світла.

Якщо опромінення фоточутливого шару фотодіоду здійснюється немодульованим потоком, то вираз (1) приймає вигляд

$$I_{ph} = I_{d0} + S_{ph} \Phi - \frac{q}{h\nu} I_{ph} U_{ph} \quad (3)$$

Окрім того, при відсутності модуляції світлового потоку, паразитна ємність фотодіоду C_{ph} не впливає на вихідну напругу фотоприймача. Таким чином, вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, з урахуванням зміщення нулю, різниці вхідних струмів, напруги шуму, описується виразом [7]

$$U_{out} = \frac{R_{out}}{R_{in} + R_{out}} (I_{ph1} - I_{ph2}) \quad (4)$$

де K_{tr} – коефіцієнт передачі операційного підсилювача, R_{in} – вхідний опір операційного підсилювача, U_{0} – напруга зміщення нулю операційного

підсилювача, – різниця вхідних струмів операційного підсилювача, R_{in} – опір в колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача, U_{noise} – напруга шуму на виході фотоприймача, яка залежить від шумового струму I_{noise} резистора в колі зворотнього зв'язку, шумового струму фотодіоду I_{dark} , шумового струму операційного підсилювача I_{op} та напруги шуму операційного підсилювача U_{noise} .

Підставивши (2) і (3) в (4), після перетворень, отримуємо

$$\dots$$

(5)

Як випливає з виразу (5), вихідна напруга фотоприймача лінійно залежить від площі фоточутливого шару, що освітлюється.

Вираз (5) можна спростити. Різниця вхідних струмів для сучасних операційних підсилювачів складає одиниці нА, а напруга зміщення U_{offset} - одиниці мВ. При умовах $R_{in} \gg R_{load}$ та , значеннями I_{dark} та можна знехтувати. При використанні елементної бази з низьким рівнем шумів, шумовою складовою I_{op} виразу (5) можна знехтувати. Внаслідок малого значення темного струму, яке складає одиниці наноампер, можна вважати, що $I_{dark} \ll I_{op}$. Вхідний опір сучасних операційних підсилювачів складає десятки або сотні МОм, що значно перевищує опір R_{in} в колі зворотного зв'язку та внутрішній опір фотодіоду. Коефіцієнт передачі сучасних операційних підсилювачів також дуже високий. Виходячи з цього справедливий вираз

$$\dots \quad (6)$$

З урахуванням усіх цих умов вираз (5) приймає вигляд

$$\dots \quad (7)$$

З виразу (7) випливає, що вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач прямо пропорційна площі фоточутливого шару фотодіоду, що освітлюється, якщо знехтувати впливом темного струму, шумовою складовою, напругою зміщення та різницею вхідних струмів операційного підсилювача, кінцевими значеннями коефіцієнту передачі та вхідного опору операційного підсилювача тощо.

Розглянемо фотоелектричний перетворювач рівню рідини в постійну напругу. Його схематичне конструктивне креслення наведено на рис. 2.

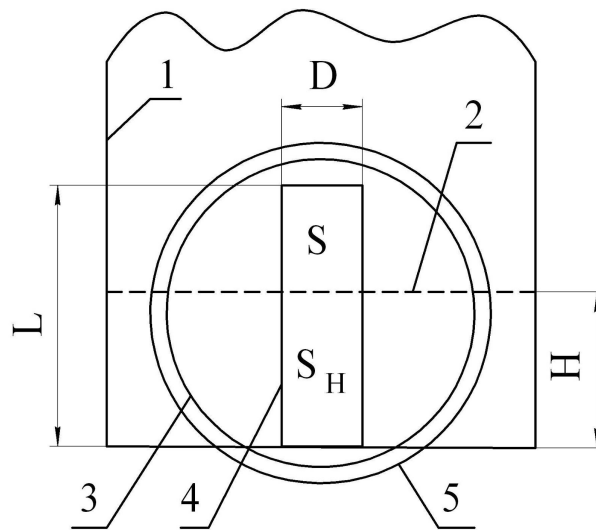


Рис. 2. Фотоелектричний перетворювач рівню в постійну напругу:
 1 – корпус, 2 – рівень рідини, 3 – границя фоточутливого шару фотодіода, 4 – діафрагма, 5 – корпус фотодіода

Діафрагма, яка знаходиться перед фоточутливим шаром фотодіода, виконана у вигляді прямокутника висотою L та шириною D . Площа діафрагми визначається виразом

$$S_D = L \cdot D,$$

(8)

де S_D – площа фоточутливого шару фотодіода, на який попадає потік випромінення, S_H – площа фоточутливого шару фотодіода, який закритий і на який потік випромінення не попадає.

Площа S_H визначається виразом

$$S_H = \frac{\pi D_H^2}{4} - S_D.$$

(9)

Відповідно площа S_H знаходиться з співвідношення

$$\frac{S_H}{S_D} = \frac{\pi D_H^2}{4 D L} - 1.$$

(10)

Для знаходження рівняння перетворення фотоелектричного перетворювача рівню в постійну напругу, підставимо (10) в (7)

$$U_{out} = \frac{K \cdot S_H \cdot I_{ph}}{S_D \cdot I_{ph} + I_{d0}}.$$

(11)

З виразу (11) випливає, що вихідна напруга фотоелектричного перетворювача рівню в постійну напругу на основі пари фотодіод-операційний підсилювач є лінійною функцією рівню. Даний вираз є рівнянням перетворення, у ньому не враховані складові похибки вимірювального перетворення. Знайдемо з виразу (11) вимірне значення рівню



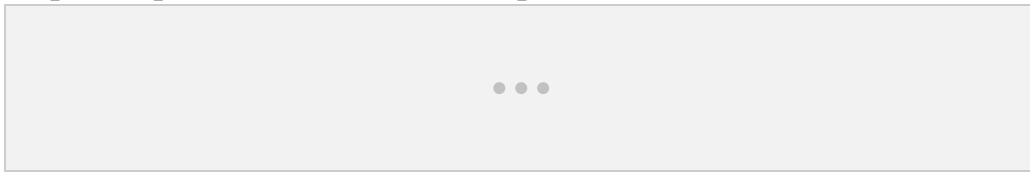
(12)

Визначимо абсолютну методичну похибку вимірювального перетворення рівню. Для цього підставимо вираз (10) в (5) і після нескладних перетворень знайдемо дійсне значення вимірюваного рівню



(13)

Абсолютна методична похибку первинного вимірювального перетворення рівню визначається виразом



(14)

Вираз (14) визначає абсолютну методичну похибку первинного вимірювального перетворення рівню і описує її функціональну залежність від номінальних параметрів елементів фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, темного струму фотодіода, шумової складової, напруги зміщення та різниці вхідних струмів операційного підсилювача, кінцевих значень коефіцієнту передачі та вхідного опору операційного підсилювача. Перша складова виразу (14) описує адитивну складову похибки, друга – мультиплікативну.

Розглянутий вище варіант фотоелектричного перетворювача рівню рідини реалізовано на основі одного фотодіоду і не може бути використаний для реалізації засобу вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки. Дана обставина зумовлена тим, що фотодіоди, які виготовляються промислово, мають невеликі габаритні розміри і не перевищують 10 мм в діаметрі. При використанні в переносному доїльному апараті, в залежності від розміру молокоприймальної камери, необхідно вимірювати рівень молока до декількох десятків міліметрів. Пропонується реалізувати первинний вимірювальний перетворювач рівню молока для переносного доїльного апарату на основі декількох фотоелектричних перетворювачів, розглянутих вище. Схематичне конструктивне креслення такого перетворювача наведено на рис. 3, а, структурну схему засобу вимірювання рівню молока на його основі – на рис. 3, б.

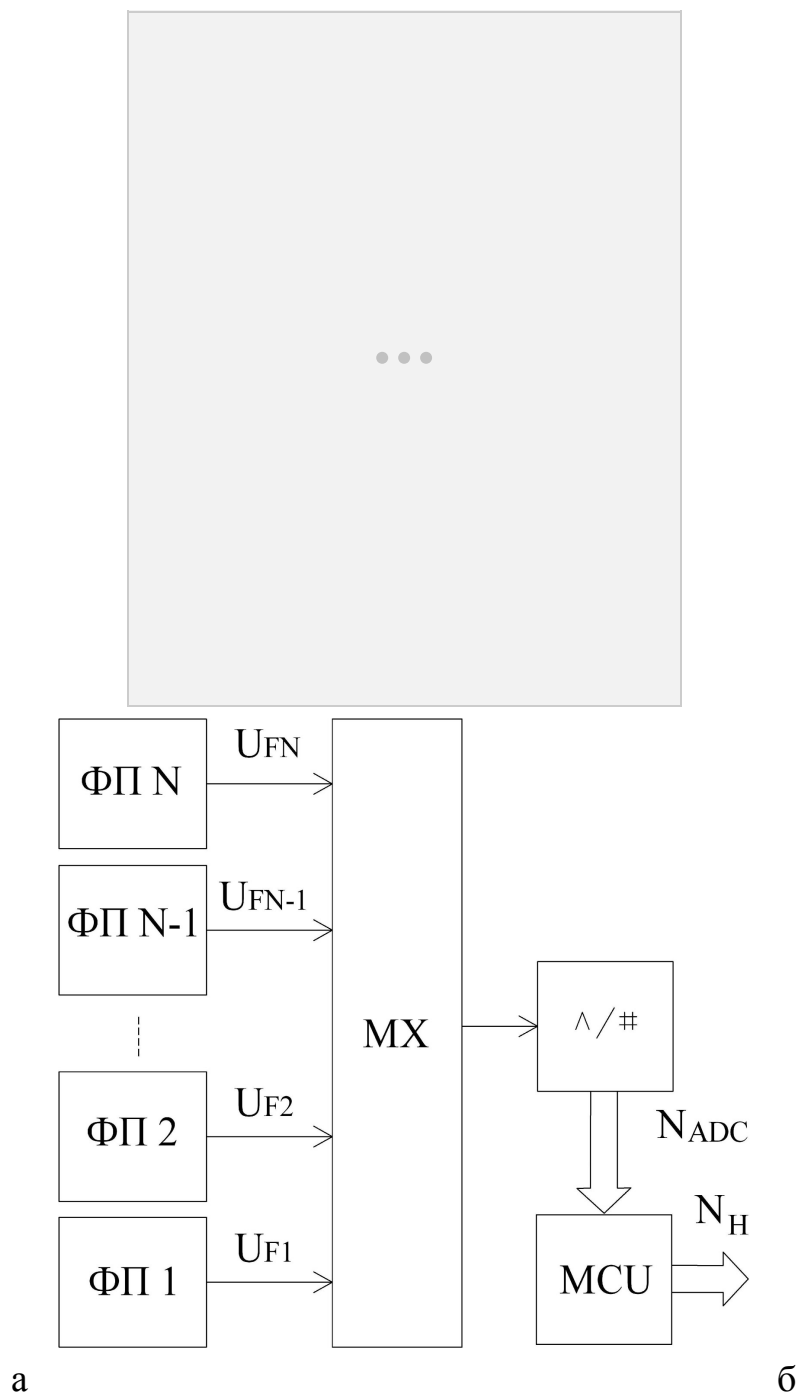



Рис. 3. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки: а - конструктивне креслення первинного вимірювального перетворювача рівню, б - структурна схема засобу вимірювання рівню молока, 1 – рівень молока, 2 – корпус молокоприймальної камери, ФП – фотоприймач.

Первинний вимірювальний перетворювач рівню молока для переносного доїльного апарату (рис. 3, а) складається з  фотоприймачів на основі пари фотодіод - операційний підсилювач. Фотодіоди розташовані так, що рівень верхньої границі діафрагми кожного фотодіоду співпадає з рівнем нижньої границі діафрагми наступного фотодіоду. В результаті, в еквіваленті

утворюється діафрагма висотою h та шириною b . Навпроти кожного фотодіоду знаходиться випромінювач з конденсорною лінзою для забезпечення рівномірного світлового потоку на площині фоточутливого шару.

Розглянемо принцип дії засобу вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки на основі його структурної схеми (рис. 3, б). Вихідні сигнали фотоприймачів на основі пари фотодіод-операційний підсилювач U_1 , U_2 , U_3 ... U_n поступають на вхід мультиплексора МХ, за допомогою якого здійснюється послідовне під'єднання цих сигналів до входу аналого-цифрового перетворювача АЦП. Результат аналого-цифрового перетворення вихідного сигналу кожного фотоприймача у вигляді коду $U_{циф}$ передається до порта введення мікроконтролера МСU. На основі отриманих даних мікроконтролер здійснює розрахунок рівню молока і представляє результат вимірювання у вигляді коду $U_{рез}$.

Встановимо функціональний зв'язок між вихідними напругами фотоприймачів та рівнем молока. Як впливає з рис. 3, а, діафрагма одного з фотоприймачів, позначимо його порядковий номер через i , частково перекрита молоком, і його вихідна напруга знаходиться в межах від U_{i0} до максимального значення U_{iMAX} , яке буде на виході фотоприймача при повністю відкритій діафрагмі і визначається виразом

$$U_{iMAX} = IS_{i0} R_{ZZ} DL / r^2 \quad (15)$$

Тоді у всіх фотоприймачів з номерами від 1 до n діафрагма буде повністю відкрита, а у фотоприймачів з номерами від 1 до n - повністю закрита. Значення U_{iMAX} визначається програмно шляхом аналізу вихідних кодів аналого-цифрового перетворювача відповідних сигналам U_1 , U_2 , U_3 ... U_n . Таким чином, рівень молока буде визначатися сумою висот закритих молоком діафрагм фотоприймачів з номерами від 1 до n і рівнем закриття діафрагми U_{iMAX} - того фотоприймача. З урахуванням (12), вираз для визначення рівню молока в приймальній камері доїльного апарату має вигляд

$$U_{рез} = U_{iMAX} \cdot \left(U_1 + U_2 + \dots + U_n \right) \quad (16)$$

де U_{iMAX} - вихідна напруга i -того фотоприймача.

Слід відзначити, що можливий варіант аналогового додавання вихідних сигналів фотоприймачів з подальшою аналого-цифровою обробкою отриманої суми напруг. Але таке рішення недоцільне, тому як виникне додаткова складова похибки аналогового суматора. Окрім того, у цьому випадку, складові похибки вимірювання рівню, які зумовлені темновим струмом, шумовою складовою, напругою зміщення та різницею вхідних

струмів операційного підсилювача, кінцевими значеннями коефіцієнту передачі та вхідного опору операційного підсилювача збільшаться в \square разів.

Визначимо абсолютну похибку вимірювання рівню молока. Припустимо, що похибка, яка зумовлена неточністю виконання діафрагми настільки мала, що нею можна знехтувати. Тоді загальна похибка буде мати наступні складові: похибка вимірювального перетворення, яка визначається виразом (14), похибка встановлення \square , яка зумовлена відхиленням від вертикалі положення молокоприймальної камери доїльного апарату, коливанням поверхні молока, наявністю крапель та піни, похибка квантування аналого-цифрового перетворювача, яка визначається виразом [8]

$$\square, \quad (17)$$

де \square - опорна напруга аналого-цифрового перетворювача; \square - розрядність аналого-цифрового перетворювача. З урахуванням цього, абсолютна похибка вимірювання рівню молока визначається виразом

$$\square, \quad (18)$$

Розглянемо конструкцію та принцип дії молокоприймальної камери переносного доїльного апарату стійлової установки, схематичне креслення якої наведено на рис. 4.

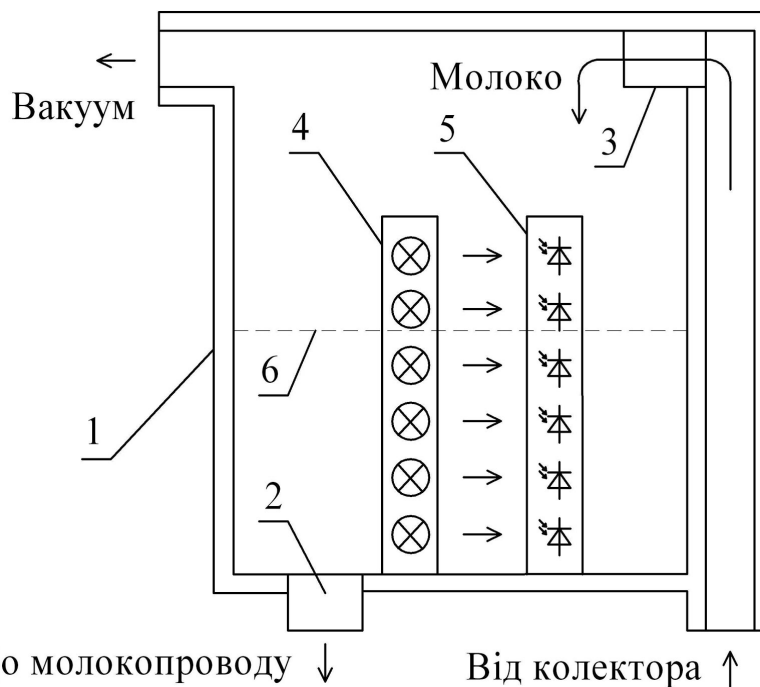


Рис. 4. Схематичне креслення молокоприймальної камери переносного доїльного апарату з фотоелектричним вимірювальним перетворювачем рівню молока: 1 - корпус камери, 2 - зливний електроклапан, 3 - піновідділювач, 4 - інфрачервоні випромінювачі, 5 - фотоприймачі, 6 - рівень молока

Під дією пульсуючого вакууму, який утворюється за допомогою пульсатора в доїльних стаканах, молоко з колектора всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У цій камері розташований розглянутий вище первинний вимірювальний перетворювач рівню рідини та зливний електроклапан. В процесі доїння рівень молока в молокоприймальній камері збільшується. Після досягнення певного рівню відкривається зливний клапан і накопичене в камері молоко скидається у загальний молокопровід. В залежності від інтенсивності молоковіддачі автоматично встановлюється пороговий рівень, при якому здійснюється скидання молока. Позначимо через S площу дна молокоприймальної камери. Тоді об'єм V - тої порції молока визначається виразом

$$V = S \cdot h, \quad (19)$$

де h - рівень молока в камері під перед скиданням V - тої порції.

Загальний удій тварини визначається виразом

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (20)$$

де V_i - кількість порцій молока, скинутих в молокопровід на протязі часу доїння однієї тварини.

Під час видоювання тварини вимірюється поточний час. Це дає можливість визначення важливих зоотехнічних показників тварини, а саме : час доїння t , тривалість латентного періоду - час між початком доїння та видоюванням 200 г молока [9], інтенсивності молочного потоку на інтервалі з початку доїння до 30 с після початку доїння, на інтервалі з 30 до 60 с після початку доїння, на інтервалі з 60 до 90 с після початку доїння, миттєвого значення інтенсивності молочного потоку, середньої інтенсивності молоковиділення, яка визначається за виразом

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (21)$$

Використання розглянутого засобу вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату дозволить відмовитись від періодичних контрольних видоювань тварин з метою визначення їх середнього удою.

5. Апробація результатів досліджень

Дослідження експериментального зразка переносного доїльного апарату для стійлової доїльної установки проводилися в СТОВ "Колос", с. Капустяни, Тростянецького району Вінницької області (Україна). Експериментальні доїння здійснювалися у групі з сорока вісьми тварин за допомогою трьох доїльних апаратів, один із яких експериментальний, а два

інші - стандартні доїльні апарати УДМ.05.000 виробництва ВАТ "Брацлав" з механічним попарним пульсатором без функції керування процесом доїння. Під час досліджень було проведено чотириста вісімдесят доїнь різних тварин у групі за допомогою експериментального зразка доїльного апарату, тобто за його допомогою видоювалась третина усіх тварин групи на протязі п'ятнадцяти ранкових та п'ятнадцяти вечірніх доїнь. Результати вимірювання удою, отримані за допомогою експериментального зразка доїльного апарату, порівнювались з результатами, отриманими за допомогою приладу для проведення контрольних доїнь ИУ-1, виробництва ВАТ "Брацлав", які вважались дійсним значенням вимірюваної величини. В результаті досліджень встановлено, що відносна похибка вимірювання удою не перевищує 6 %, відносне середньоквадратичне значення абсолютної похибки вимірювання удою складає 2,7 %. У відповідності критерієм згоди Пірсона [10], розподіл абсолютної похибки вимірювання удою за допомогою експериментального зразка є нормальним. Експериментально встановлене значення максимальної відносної похибки вимірювання удою за допомогою аналогічних засобів [1, 2] складає 9–15 %, в залежності від ступеню піноутворення.

6. Висновки

1. Визначено теоретичну залежність між вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач і освітлюваною площею фоточутливого шару фотодіоду. В результаті аналізу отриманої залежності встановлено можливість створення первинного вимірювального перетворювача рівню молока в молокоприймальній камері переносного доїльного апарату з лінійним рівнянням перетворення.

2. Запропоновано новий первинний вимірювальний перетворювач рівню і засіб вимірювання рівню молока в молокоприймальній камері переносного доїльного апарату на його основі. В результаті впровадження такого засобу вимірювання підвищується точність вимірювання удою, що підтверджено результатами експериментальних досліджень. Окрім того, за допомогою запропонованого засобу, можливе вимірювання інтенсивності молоковиділення, тривалості доїння, інших зоотехнічних параметрів тварин.

3. Отримано теоретичні залежності абсолютної методичної складової похибки первинного вимірювального перетворення рівню та абсолютної похибки вимірювання рівню від деяких зовнішніх факторів та параметрів елементів, що входять до складу первинного перетворювача та засобу вимірювання. Отримані залежності дозволять в подальшому провести теоретичне дослідження похибки вимірювання удою та інших зоотехнічних параметрів.

Література

1. Кучерук, В. Ю. Датчик інтенсивності молоковіддачі переносного доїльного апарату для стійлового молокопроводу [Текст] / В. Ю. Кучерук, П.

І. Кулаков, Є. А. Паламарчук, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – №3. – с. 44-48.

2. Каталог продуктов и услуг DeLaval [Текст], 2011. – 372 с.

3. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.

4. Залманзон, Л. А. Микропроцессоры и управление потоками жидкости и газа [Текст] / Л. А. Залманзон. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

5. Аксененко, М. Д. Микроэлектронные фотоприемные устройства [Текст] / М. Д. Аксененко, М. Л. Бараночников, О. В. Смолин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

6. Кузьмичев, В. Е. Законы и формулы физики [Текст] / В. Е. Кузьмичев. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.

7. Ишанин, Г. Г. Источники и приемники излучения [Текст] : учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г. Г. Ишанин, Э. Д. Панков, А. Л. Андреев, Г. В. Польщиков. – СПб. : Политехника, 1991. – 240 с.

8. Интегральные микросхемы : Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа [Текст] / М.: ДОДЭКА, 1996. – 384 с.

9. Де Монмоллен, Н. Системы «человек-машина» [Текст] / Н. Де Монмоллен. – М.: Мир, 1973. – 256 с.

10. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] : произв. изд. / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

Referenses

1. Kucheruk, V. Y., Kulakov, P. I., Palamarchuk, E. A., Gnes, T. V. (2013). Milking intensity sensor of portable milking machine for stabling milking farm. Measuring and computing equipment in industrial processes, 3, 44–48

2. Catalogue of products and services DeLaval (2011)., 372.

3. Tsoy, Y. A. (2010). Processes and equipment of milk departments of farms. - M.: GNU VIESH, 424.

4. Zalmanzon, L. A. (1984). Microprocessors and control of the liquid and gas flow. - M.: Nauka, 320.

5. Aksenenko, M. D., Baranochnikov M. L., Smolin O. V. (1984). Microelectronic photo-receivers. Energoatomizdat, 208.

6. Kuzmichev, V. E. (1989). Laws and formulas of physics. Naukova dumka, 864.

7. Ishanin, G. G., Pankov, E. D., Andreev, A. L., Polschikov, G. V. (1991). Radiation sources and detectors. - SPb.: Politehnika, - 240.

8. Integrated Circuits: IC for analog-to-digital conversion and multimedia (1996). DODEKA, 384.

9. De Monmollen, N. (1973). The "man-machine" systems. Mir, 256.

10. Novickiy, P. V., Zograf, I. A. (1991). Estimation of errors of measurement results. Energoatomizdat, 304.

Проведено теоретичне дослідження фотоелектричного перетворювача світлового потоку в напругу на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. Доведено, що вихідна напруга фотоелектричного перетворювача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач лінійно залежить від освітлюваної площі фоточутливого шару фотодіоду. Запропоновано первинний вимірювальний перетворювач рівню рідини на основі розглянутого фотоелектричного перетворювача, у якому площа фоточутливого шару фотодіоду, що освітлюється, лінійно залежить від рівню, і, відповідно його вихідна напруга є лінійною функцією рівню. На основі запропонованого первинного вимірювального перетворювача рівню реалізовано засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової доїльної установки. Розглянуто алгоритм його роботи та алгоритми непрямого вимірювання удою, інтенсивності молоковиділення, тривалості латентного періоду та інших зоотехнічних параметрів тварин. Визначено абсолютну методичну похибку вимірювального перетворення рівню та абсолютну похибку запропонованого засобу вимірювання рівню.

Сучасні засоби вимірювання індивідуального удою для стійлових доїльних установок, на відміну від стаціонарних засобів вимірювання для доїльних залів, не забезпечують необхідну для розрахунку та прогнозування певних зоотехнічних параметрів точність. Саме тому створено засіб вимірювання, який забезпечує метрологічні показники, аналогічні обладнанню, яке використовується у доїльних залах.

В результаті впровадження створеного засобу вимірювання підвищується точність непрямого вимірювання удою, що підтверджено результатами експериментальних досліджень.

Внаслідок підвищення точності вимірювання індивідуального удою на стійловій установці виникає можливість відмови від проведення трудомісткої процедури контрольних доїнь. Окрім того, підвищується точність непрямого вимірювання інших зоотехнічних параметрів тварин та подальша оптимізація процесу доїння.

Ключові слова: рівень молока, вимірювальний перетворювач рівню, переносний доїльний апарат, машинне доїння.

Кучерук Володимир Юрійович

Доктор технічних наук, професор

Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

Відомості про наявність публікацій в українських виданнях: 189

Відомості про наявність друкованих творів у загальнодержавних та міжнародних базах даних: 12

ID ORCID: 0000-0002-6422-7779

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: kucheruk@mail.ru

Паламарчук Євген Анатолійович

Кандидат технічних наук, професор

Кафедра економічної кібернетики

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008

Відомості про наявність публікацій в українських виданнях: 154

Відомості про наявність друкованих творів у загальнодержавних та міжнародних базах даних: 6

ID ORCID: 0000-0002-7443-099X

Контактний тел. 0432-43-85-20

E-mail: evgen.pal@gmail.com

Кулаков Павло Ігорович

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

Відомості про наявність публікацій в українських виданнях: 59

Відомості про наявність друкованих творів у загальнодержавних та міжнародних базах даних: 3

ID ORCID: 0000-0002-0167-2218

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: kulakovpi@gmail.com

Гнесь Тетяна Вікторівна

Аспірант

Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

Відомості про наявність публікацій в українських виданнях: 10

Відомості про наявність друкованих творів у загальнодержавних та міжнародних базах даних: 3

ID ORCID: 0000-0002-6956-8927

Контактний тел. 0432-59-86-72

E-mail: tata-1990@mail.ru

Кучерук Владимир Юрьевич

Доктор технических наук, профессор

Кафедра метрологии и промышленной автоматики

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021

Сведения о наличии публикаций в украинских изданиях: 189
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: 12
ID ORCID: 0000-0002-6422-7779
Контактный тел. 0432-59-86-72
E-mail: kucheruk@mail.ru

Паламарчук Евгений Анатольевич
Кандидат технических наук, профессор
Кафедра экономической кибернетики
Винницкий национальный аграрный университет
ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008
Сведения о наличии публикаций в украинских изданиях: 154
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: 6
ID ORCID: 0000-0002-7443-099X
Контактный тел. 0432-43-85-20
E-mail: evgen.pal@gmail.com

Кулаков Павел Игоревич
Кандидат технических наук, доцент
Кафедра метрологии и промышленной автоматики
Винницкий национальный технический университет
ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021
Сведения о наличии публикаций в украинских изданиях: 59
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: 3
ID ORCID: 0000-0002-0167-2218
Контактный тел. 0432-59-86-72
E-mail: kulakovpi@gmail.com

Гнесь Татьяна Викторовна
Аспирант
Кафедра метрологии и промышленной автоматики
Винницкий национальный технический университет
ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021
Сведения о наличии публикаций в украинских изданиях: 10
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: 3
ID ORCID: 0000-0002-6956-8927
Контактный тел. 0432-59-86-72
E-mail: tata-1990@mail.ru

Kucheruk Volodymyr

Doctor of engineering, Professor

Department of metrology and industrial automatics

Vinnitsia National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnitsia, Ukraine, 21021

Information about the availability of publications in Ukrainian editions: 189

Information about the availability of printed works in national and international databases: 12

ID ORCID: 0000-0002-6422-7779

Contact tel. 0432-59-86-72

E-mail: kucheruk@mail.ru

Palamarchuk Yevhen

Candidate of engineering, professor

Department of economic cybernetics

Vinnitsia National Agrarian University

3 Solnechnaya str, Vinnitsia, Ukraine, 21008

Information about the availability of publications in Ukrainian editions: 154

Information about the availability of printed works in national and international databases: 6

ID ORCID: 0000-0002-7443-099X

Contact tel. 0432-43-85-20

E-mail: yevgen.pal@gmail.com

Kulakov Pavlo

Candidate of engineering, assistant professor

Department of metrology and industrial automatics

Vinnitsia National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnitsia, Ukraine, 21021

Information about the availability of publications in Ukrainian editions: 59

Information about the availability of printed works in national and international databases: 3

ID ORCID: 0000-0002-0167-2218

Contact tel. 0432-59-86-72

E-mail: kulakovpi@gmail.com

Gnes Tatiana

Postgraduate student

Department of metrology and industrial automatics

Vinnitsia National Technical University

95 Khmelnytske shose, Vinnitsia, Ukraine, 21021

Information about the availability of publications in Ukrainian editions: 10

Information about the availability of printed works in national and international databases: 3

ID ORCID: 0000-0002-6956-8927

Contact tel. 0432-59-86-72
E-mail: tata-1990@mail.ru