

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 681.586

В. Ю. Кучерук¹
П. І. Кулаков¹
Д. В. Мостовий¹**ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ
МОЛОКА У МОЛОКОПРИЙМАЛЬНІЙ КАМЕРІ**¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто засіб вимірювання питомої електропровідності молока у молокоприймальній камері, який забезпечує зменшення складової похибки вимірювання, зумовленої нерівномірністю силових ліній електричного поля у міжелектродному проміжку. Використання запропонованого засобу вимірювання дозволяє збільшити достовірність виявлення фактів фальсифікації молока розбавленням водою та діагностики маститу.

Ключові слова: питома електропровідність молока, доїльний апарат, молокоприймальна камера.

Вступ

У теперішній час мастит є однією з найбільших проблем молочного скотарства. Внаслідок маститу знижується продуктивність корів, погіршується якість молока та його технологічні властивості, підвищуються витрати на діагностику і лікування тварин, виникає соціальна загроза попадання маститного молока у продаж, зменшується народжуваність телят, ускладнюється племінна робота [1]. Виникнення маститу у корови змінює цілий комплекс параметрів сирого молока, у тому числі його електропровідність, яка значно збільшується [2]. Найбільший вплив на збільшення значення електропровідності молока мають іони хлоридів та натрію, концентрація яких у разі маститу значно збільшується [3—5]. Внаслідок цього, найрозповсюдженішим способом автоматичного виявлення маститу є вимірювальний контроль електропровідності сирого молока під час процесу доїння [6, 7]. Слід зазначити, що миттєве значення питомої електропровідності може суттєво змінюватись протягом доїння, тому виникає необхідність у створенні методів вимірювального контролю його середнього значення. Зменшення електропровідності молока нижче мінімально допустимого значення може свідчити про фальсифікацію результатів удою персоналом ферми шляхом розбавлення молока водою. Проблема фальсифікації молока особливо актуальна на стійлових доїльних установках, які використовуються при прив'язному утриманні корів. Дояри це роблять для завищення показників удою, від яких залежить їх заробітна плата. У теперішній час практично усі світові виробники доїльного обладнання виготовляють засоби контролю електропровідності молока. Переносні засоби здійснюють вимірювальний контроль електропровідності перших струменів молока. У цьому випадку, на результати контролю впливає забрудненість виміни, об'єм порції молока, часовий проміжок між доїннями, кваліфікація оператора, температура молока та її зміна в процесі вимірювання. У багатьох існуючих засобах контролю електропровідності молока не здійснюється температурна компенсація, хоча температура контрольованої порції, яка залежить від особливостей тварини і температури навколишнього середовища, впливає на виміряне значення електропровідності. У проточних засобах вимірювання електропровідності зменшення точності відбувається за рахунок наявності піни, нерівномірності молочного потоку, неповного покриття електродів, нерівномірності електричного поля у міжелектродному проміжку. Таким чином, актуальним є подальше підвищення точності вимірювання та достовірності контролю електропровідності молока.

Метою дослідження є підвищення точності вимірювання питомої електропровідності молока за контрольної температури у молокоприймальній камері доїльного апарата за рахунок зменшення похибки від нерівномірності силових ліній електричного поля у міжелектродному проміжку, нерівномірності молочного потоку та наявності піни у молоці.

Результати дослідження

Електропровідність молока пояснюється наявністю у ньому іонів. Для уніфікації результатів контролю електропровідності молока пропонується проводити вимірювальний контроль його питомої електропровідності, яка відповідає контрольній температурі $T_{KM} = 20$ °С. Між питомою електропровідністю молока та швидкістю його іонів існує залежність, яка визначається за виразом [3]

$$\chi_M = \frac{e_e n_e c_e N_{LE}}{1000} (u_+ + u_-), \quad (1)$$

де c_e — концентрація іонів; n_e — електрохімічна валентність; N_{LE} — число Лошмідта; u_+ — швидкість руху катіонів; u_- — швидкість руху аніонів.

Окрім цього, вираз (1) можна представити у вигляді [3]

$$\chi_M = \frac{\alpha_e f_\lambda c_e n_e}{1000} (l_{+\infty} + l_{-\infty}), \quad (2)$$

де α_e — ступінь дисоціації; f_λ — коефіцієнт електропровідності молока, за допомогою якого враховується міжіонна взаємодія; $l_{+\infty}$ — рухомість катіонів при нескінченному розбавленні; $l_{-\infty}$ — рухомість аніонів при нескінченному розбавленні.

Залежність питомої електропровідності молока від температури визначається за виразом

$$\chi_M = \chi_{M0} (1 + \alpha_M \Delta T), \quad (3)$$

де χ_{M0} — питома електропровідність молока за контрольної температури T_{KM} ; α_M температурний коефіцієнт електропровідності молока, $\alpha_M = 0,02$ °С⁻¹; ΔT — різниця між поточною температурою молока T_{PM} та контрольною температурою.

Як випливає з виразу (3), температура має значний вплив на електропровідність молока, збільшення температури на 1 °С приводить до збільшення електропровідності на 1 %. Виходячи з цього, температурна компенсація результатів вимірювання електропровідності приводить до підвищення достовірності її контролю. Питома електропровідність сирого молока здорової тварини за температури 20 °С, за даними різних авторів [3, 5, 7], знаходиться в межах від $30 \cdot 10^{-4}$ до $80 \cdot 10^{-4}$ См/см.

Розглянемо рис. 1, на якому показано типову експериментальну залежність питомої електропровідності молока від часу протягом доїння [8]. Наведена залежність побудована на основі даних, отриманих протягом шести днів від 32 корів за їх триразового доїння, інтервал між вибірками складав шість секунд.

Як випливає з рис. 1 та аналізу результатів робіт [4, 5, 7, 8], миттєве значення електропровідності значно змінюється протягом часу доїння та залежить від багатьох випадкових факторів, таких як спінування молока, неповне покриття електродів, нерівномірність електричного поля у міжелектродному проміжку, турбулентність потоків молока, інтенсивності молочного потоку, особливостей утримання корів, типу кормів та кормових домішок, стану здоров'я тварини, періоду лактації, індивідуальних та породних особливостей тварин.

Таким чином, з метою зменшення впливу випадкових факторів на достовірність контролю, доцільним є вимірювальний контроль середнього значення питомої електропровідності молока за контрольної температури під час доїння.

Методика вимірювання така. В процесі доїння проводиться N_{MC} одночасних вимірювань мит-

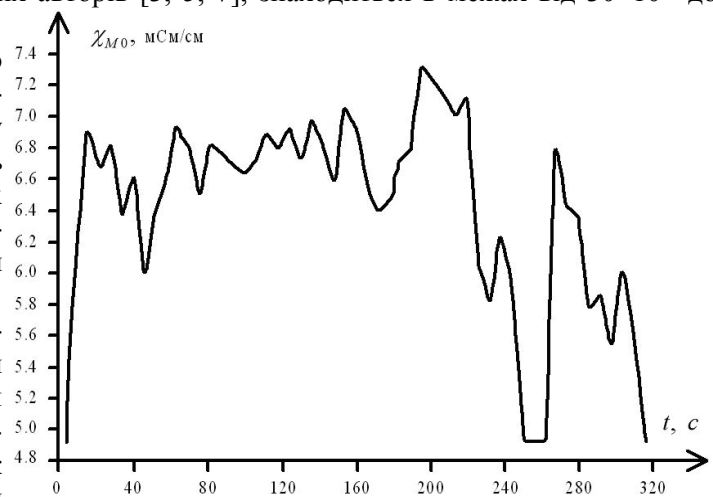


Рис. 1. Типова залежність питомої електропровідності молока від часу протягом доїння

тевих значень питомої електропровідності молока $\chi_{M i}$, $\chi_{M i+1} \dots \chi_{M N_{MC}}$ та поточної температури молока $T_{PM i}$, $T_{PM i+1} \dots T_{PM N_{MC}}$ в певні моменти часу t_i , $t_{i+1} \dots t_{N_{MC}}$. На основі результатів цих вимірювань, за допомогою виразу (3), визначаються відповідні миттєві значення питомої електропровідності молока $\chi_{M0 i}$, $\chi_{M0 i+1} \dots \chi_{M0 N_{MC}}$ за контрольної температури.

Для визначення середнього значення питомої електропровідності молока за контрольної температури під час доїння, внаслідок її стрибкоподібної зміни, доцільно використати кусочно-лінійну інтерполяцію даних. Кусочно-лінійна інтерполуюча функція залежності питомої електропровідності молока за контрольної температури від часу протягом доїння, у загальному випадку визначається за виразом

$$\chi_{M0I}(t) = \begin{cases} \frac{\chi_{M0 2} - \chi_{M0 1}}{t_2 - t_1} t + \chi_{M0 1} - \frac{\chi_{M0 2} - \chi_{M0 1}}{t_2 - t_1}, & t \in [t_1, t_2]; \\ \dots \\ \frac{\chi_{M0 i+1} - \chi_{M0 i}}{t_{i+1} - t_i} t + \chi_{M0 i} - \frac{\chi_{M0 i+1} - \chi_{M0 i}}{t_{i+1} - t_i}, & t \in [t_i, t_{i+1}]; \\ \dots \\ \frac{\chi_{M0 N_{MC}} - \chi_{M0 N_{MC}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}} t + \chi_{M0 N_{MC}-1} - \frac{\chi_{M0 N_{MC}} - \chi_{M0 N_{MC}-1}}{t_{N_{MP}} - t_{N_{MP}-1}}, & t \in [t_{N_{MP}-1}, t_{N_{MC}}]. \end{cases} \quad (4)$$

Типовий графік функції, яка описується виразом (4), показаний на рис. 2.

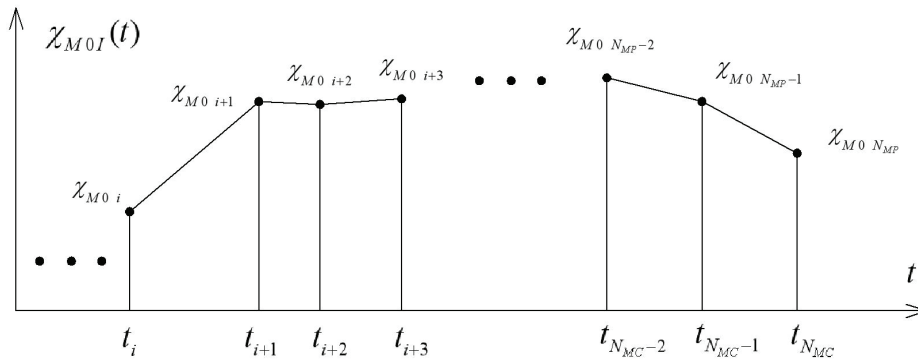


Рис. 2. Кусочно-лінійна інтерполяція результатів вимірювання залежності питомої електропровідності молока за контрольної температури від часу

Середнє за час доїння значення питомої електропровідності молока за контрольної температури, при використанні цифрового інтегрування інтерполуючої функції за методом трапецій, визначається за виразом

$$\chi_{M0S} = \frac{1}{t_{N_{MC}} - t_1} \int_0^{t_{N_{MC}}} \chi_{M0I}(t) dt = \frac{1}{t_{N_{MC}} - t_1} \sum_{i=1}^{N_{MC}-1} \frac{\chi_{M0 i+1} + \chi_{M0 i}}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (5)$$

Для вимірювання електропровідності молока, зазвичай, використовують вимірювальний міст Уїтстона [9], за допомогою якого визначається опір молока у проміжку між двома електродами. Електроди виготовляють з нержавіючої сталі, вимірювання здійснюється виключно на змінному струмі з метою неможливості поляризації електродів [10]. Якщо електроди мають форму прямокутника довжиною h_E та шириною d_E , а відстань між ними дорівнює l_E , і молоко знаходиться тільки у міжелектродному проміжку, то опір цього молока, з урахуванням (3), визначається за виразом

$$r_M = \frac{l_E}{\chi_M h_E d_E} = \frac{l_E}{\chi_{M0} (1 + \alpha_M \Delta T) h_E d_E}. \quad (6)$$

Відповідно, електропровідність визначається за виразом

$$g_M = \frac{1}{r_M} = \frac{\chi_{M0}(1 + \alpha_M \Delta T) h_E d_E}{l_E}. \quad (7)$$

Як випливає з виразу (7), питома електропровідність цієї порції молока за контрольної температури T_{KM} , визначається за виразом

$$\chi_{M0} = \frac{g_M l_E}{(1 + \alpha_M (T_{PM} - T_{KM})) h_E d_E}. \quad (8)$$

Прямокутні пластини електродів утворюють паразитний конденсатор, ємність якого визначається за виразом

$$C_{CM} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_M h_E d_E}{l_E}, \quad (9)$$

де ε_0 — діелектрична проникність вакууму; ε_M — діелектрична проникність молока.

Таким чином, для змінного струму, еквівалентна схема електродної системи з молоком у міжелектродному просторі, являє собою активний опір r_M , паралельно з'єднаний з ємнісним реактивним опором $X_{C_{CM}}$, який визначається за виразом

$$X_{C_{CM}} = \frac{1}{2\pi f_{CM} C_{CM}}, \quad (10)$$

де f_{CM} — частота синусоїдального струму, який протікає через електродну систему.

Для мінімізації впливу паразитної ємнісної на результат вимірювання, ємнісний реактивний опір електродної системи повинен бути значно більшим, ніж максимальне значення опору молока. Таким чином, конструктивні параметри електродів повинні бути такими, щоб забезпечувалося виконання співвідношення

$$2\pi f_{CM} C_{CM} \ll r_M. \quad (11)$$

Похибка вимірювання електропровідності в певних випадках може збільшуватися внаслідок нерівномірності електричного поля. Розглянемо рис. 3, на якому наведені силові лінії електричного поля у міжелектродному просторі в молокоприймальній камері доїльного апарата, коли рівень молока збігається з верхньою границею електродної системи (рис. 3а), та коли рівень молока вищий верхньої границі електродної системи (рис. 3б).

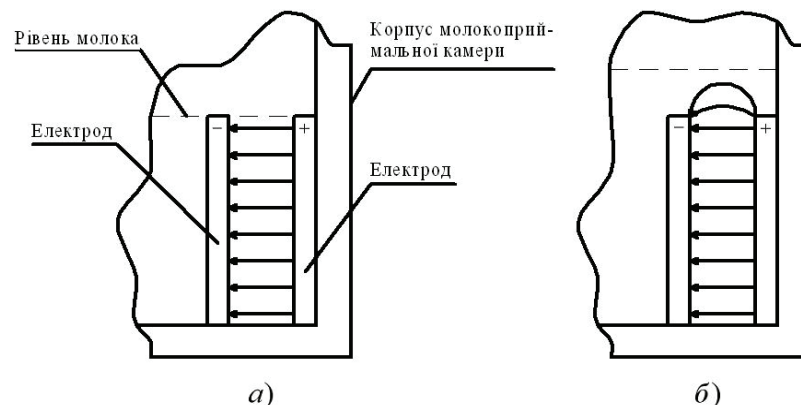


Рис. 3. Силові лінії електричного поля у міжелектродному проміжку:
а — рівень молока збігається з верхньою границею електродної системи; б — рівень молока вищий верхньої границі електродної системи

Як випливає з рис. 3а, коли рівень молока збігається з верхньою границею електродної системи, електричне поле у міжелектродному просторі має практично рівномірний характер. Внаслідок того, що повітря має у багато разів меншу електропровідність, ніж молоко, його впливом на похибку вимірювання електропровідності можна знехтувати. У разі перевищення рівнем молока верхньої границі електродної системи (рис. 3б) у верхньому шарі молока виникає нерівномірність

електричного поля, що є причиною збільшення похибки вимірювання електропровідності. У лабораторних засобах вимірювання електропровідності об'єм досліджуваної порції рідини є постійною величиною. Для компенсації складової похибки вимірювання, яка зумовлена нерівномірністю електричного поля, електродну систему калібрують за зразковими розчинами хлористого кальцію, що під час вимірювання електропровідності молока протягом часу доїння у молокоприймальній камері зробити неможливо.

Для запобігання виникнення складової похибки вимірювання електропровідності молока, яка зумовлена нерівномірністю електричного поля та наявністю піни, пропонується таке технічне рішення. Розглянемо рис. 4, на якому показано схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата з вимірювальним перетворювачем рівня молока та електродною системою для вимірювання електропровідності.

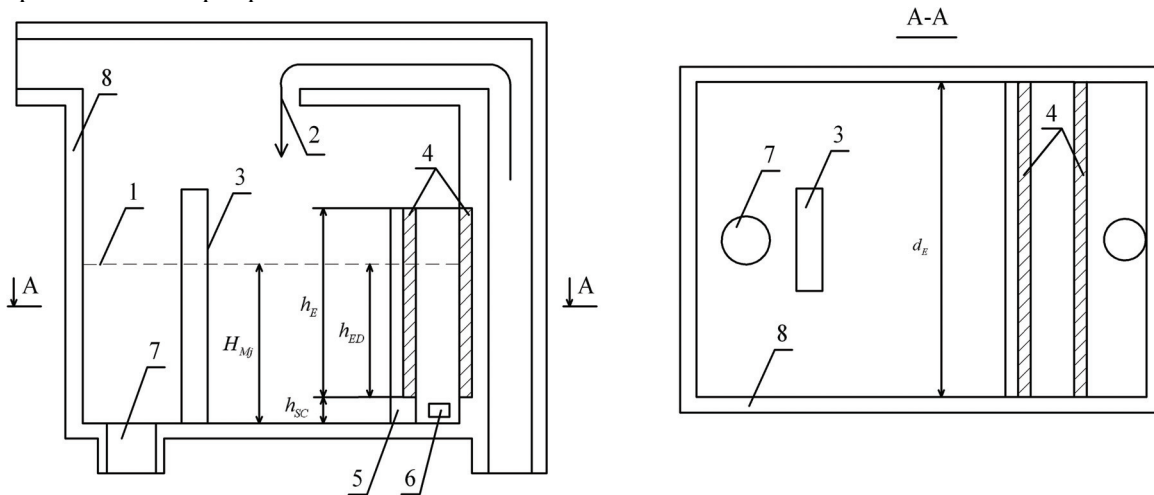


Рис. 4. Схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата з вимірювальним перетворювачем рівня молока та електродною системою для вимірювання електропровідності: 1 — рівень молока; 2 — потік молока; 3 — вимірювальний перетворювач рівня; 4 — електроди; 5 — щілина; 6 — вимірювальний перетворювач температури; отвір зливного клапана; 8 — корпус камери

У молокоприймальній камері знаходиться відсік, у якому розташовані два електроди прямокутної форми довжиною h_E , а у нижній частині розташований сенсор температури. У нижній частині зовнішньої стінки відсіку знаходиться щілина висотою h_{SC} . Завдяки наявності щілини, молокоприймальна камера та відсік утворюють сполучені сосуди. Відповідно, рівень молока у молокоприймальній камері та відсіку завжди однаковий. Вимірювання електропровідності молока та температури здійснюється у моменти часу, коли рівень молока визначається співвідношенням

$$H_{Mj} \leq h_E + h_{SC}. \quad (12)$$

Еквівалентна довжина електродів, як впливає з рис. 4, визначається за виразом

$$h_{ED} = H_{Mj} - h_{SC}. \quad (13)$$

Підставивши (12) у (8), отримаємо вираз для питомої електропровідності порції молока за контрольної температури у міжелектродному проміжку, яка має рівень H_{Mj}

$$\chi_{M0} = \frac{g_M l_E}{(1 + \alpha_M (T_{PM} - T_{KM})) (H_{Mj} - h_{SC}) d_E}. \quad (14)$$

У розглянутій конструкції наявний шар молока товщиною h_{SC} , який знаходиться між дном молокоприймальної камери та нижньою границею електродної системи. За виконання умови $H_{Mj} \gg h_{SC}$, нерівномірність електричного поля, яка зумовлена наявністю цього шару, суттєво не впливає на похибку вимірювання електропровідності. Вимірювальний перетворювач температури необхідно розташовувати у нижній частині відсіку для того, щоб його час відгуку був менший, ніж час, за який рівень молока у молокоприймальній камері досягне значення H_{Mj} . Використовуючи

запропоновану конструкцію, мінімізується значення складової похибки вимірювання електропровідності, зумовленої нерівномірністю електричного поля, коли рівень молока більший, ніж рівень верхньої границі електродної системи. Слід зазначити, що у відповідності з [4], з використанням традиційних електродних систем, на початку та в кінці доїння, внаслідок малого потоку молока та його спінювання, може виникнути неповне покриття електродів, що приводить до збільшення похибки. У разі використання розглянутої конструкції молокоприймальної камери з вимірювальним перетворювачем рівня молока та запропонованою конструкцією електродної системи, виникнення такої події неможливе.

У відповідності з [3], зниження питомої електропровідності молока за контрольної температури нижче певного рівня може свідчити про наявність у ньому води. Відповідно, вимірювальний контроль електропровідності молока дозволяє виявити факти фальсифікації молока розбавлянням водою. Як випливає з виразу (8), у разі використання прямокутних електродів, миттєве значення питомої електропровідності молока за контрольної температури T_{KM} в момент часу t_i визначається виразом

$$\chi_{M0 i} = \frac{g_{M i} l E}{\left(1 + \alpha_M (T_{PM i} - T_{KM})\right) h_E d_E}. \quad (15)$$

Для вимірювального контролю питомої електропровідності молока за контрольної температури, на основі результатів вимірювання $\chi_{M0 i}$, визначається її середнє за час доїння значення, за виразом (5).

Розглянемо рис. 5, на якому показана функціональна схема засобу вимірювального контролю середнього, за час доїння, значення питомої електропровідності молока за контрольної температури. У наведеній схемі вимірювальний міст Уїтстона складається з джерела опорної синусоїдальної напруги з стабільною амплітудою E_C , високоточних термостабільних резисторів у плечах моста з електропровідністю g_1 , g_2 та g_3 , пари електродів, між якими знаходиться молоко з електропровідністю g_M .

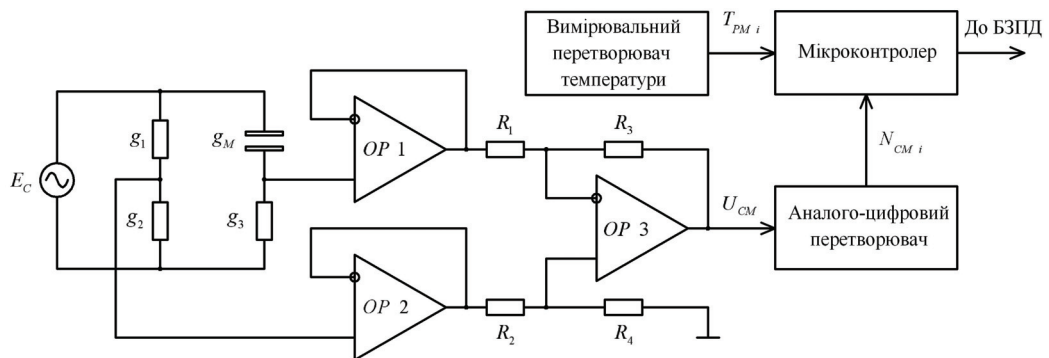


Рис. 5. Функціональна схема засобу вимірювання питомої електропровідності молока при контрольній температурі

На основі операційних підсилювачів $OP 1—OP 3$ та резисторів $R_1—R_4$ реалізовано вимірювальний підсилювач [11], який забезпечує підсилення вихідного диференційного сигналу моста. Окрім цього, вимірювальний підсилювач забезпечує високий вхідний опір для мінімізації впливу підсилювача на джерело вимірювального сигналу. Миттєве значення вихідної напруги вимірювального підсилювача U_{CM} перетворюється у цифровий код $N_{CM i}$ за допомогою АЦП, одночасно, за допомогою відповідного вимірювального каналу, отримується код миттєвого значення поточної температури молока $T_{PM i}$. Отримані коди передаються мікроконтролеру, виміряне миттєве значення електропровідності молока $g_{M i}$ визначається за виразом

$$g_{M i} = \frac{E_C K_{VP} g_1 g_3 - N_{CM i} g_3 (g_1 + g_2)}{U_{CM i} (g_1 + g_2) + g_2 E_C K_{VP}}, \quad (16)$$

де K_{VP} — коефіцієнт передачі вимірювального підсилювача.

Підставивши вираз (16) у (15), отримаємо співвідношення, яке зв'язує вимірне миттєве значення питомої електропровідності молока за контрольної температури з $N_{CM i}$ та $T_{PM i}$

$$\chi_{M0 i} = \frac{(E_C K_{VP} g_1 g_3 - N_{CM i} g_3 (g_1 + g_2)) l_E}{(N_{CM i} (g_1 + g_2) + g_2 E_C K_{VP}) (1 + \alpha_M (T_{PM i} - T_{KM})) h_E d_E}. \quad (17)$$

За виразом (5) визначається середнє за час доїння значення питомої електропровідності молока за контрольної температури та здійснюється його вимірювальний контроль. Результат вимірювання передається блоку забезпечення процесу доїння (БЗПД).

Висновки

Запропоновано засіб вимірювання питомої електропровідності молока за контрольної температури у молокоприймальній камері, у якому зменшена складова похибки, що зумовлена нерівномірністю силових ліній електричного поля у міжелектродному проміжку.

Окрім того, за рахунок особливостей конструктивного виконання електродної системи, також зменшується складова похибки вимірювання, що зумовлена нерівномірністю молочного потоку та наявності піни у молоці. Внаслідок зменшення вищевказаних складових похибки вимірювання питомої електропровідності забезпечується збільшення вірогідності виявлення корів, хворих на мастит, та виявлення фактів фальсифікації молока розбавленням водою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пешук, Л. В. Проблема маститу в стадах великої рогатої худоби молочного напрямку / Л. В. Пешук // Вісник аграрної науки. — 2001. — № 9. — С. 32—35.
2. Голобоких, П. И. Изменение электропроводности молока коров в течение лактации : автореф. дис... канд. техн. наук : / П. И. Голобоких ; Всесоюзный научно-исследовательский институт племенного дела. — М. : 1991. — 23 с.
3. Тёпел А. Химия и физика молока / А. Тёпел. — М. : Пищевая промышленность, 1979. — 623 с.
4. Nielen, M. Electrical Conductivity of Milk: Measurement, Modifiers, and Meta Analysis of Mastitis Detection Performance / M. Nielen, H. Deluyker, Y. H. Schukken, A. Brand // Journal of Dairy Science. — 1992. — V. 75. — № 2. — P. 606—614.
5. Brandt, M. Invited review: Technical solutions for analysis of milk constituents and abnormal milk / M. Brandt, A. Haessermann, E. Hartung // Journal of Dairy Science. — 2010. — V. 93, № 2. — P. 427—436.
6. Кулаков П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 220 с.
7. Invited review: A novel method of analyzing daily milk production and electrical conductivity to predict disease onset / [J. M. Lukas, J. K. Reneau, R. Wallace and etc.] // Journal of Dairy Science. — 2009. — V. 92. — № 12. — P. 5964—5976.
8. Jones, L. R. Variability and Reliability of Real-Time Milk Conductivity Data / L. R. Jones, S. L. Spahr, H. B. Puckett // Journal of Dairy Science. — 1994. — Vol. 77. — P. 80 — 83.
9. Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений : пер. с англ. / Ф. Мейзда. — М. : Мир, 1990. — 535 с.
10. Fernando, R. S. Electrical conductivity of milk for detection of mastitis / R. S. Fernando, R. B. Rindsig, S. L. Spahr // Journal of Dairy Science. — 1982. — Vol. 65. — P. 659 — 664.
11. Гринфилд, Д. Транзисторы и линейные ИС : Руководство по анализу и расчету : Пер. с англ. / Д. Гринфилд. — М. : Мир, 1992. — 560 с.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 31.01.2017

Кучерук Володимир Юрійович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, e-mail: vladimir.kucheruk@gmail.com ;

Кулаков Павло Ігорович — д-р. техн. наук, доцент, професор кафедри метрології та промислової автоматики, e-mail: kulakovpi@gmail.com ;

Мостовий Дмитро Вікторович — аспірант кафедри метрології та промислової автоматики, e-mail: trekdemon1993@mail.ru .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. Yu. Kucheruk¹
P. I. Kulakov¹
D. V. Mostovyi¹

The Measuring Means of Milk Conductivity in the Milk Collection Chamber

¹Vinnytsia National Technical University

There has been considered a measuring means of the electrical conductivity of milk in the milk collection chamber, which reduces component of measurement error, caused by non-uniformity of the electric field lines in the electrode gap. Using the proposed means of measuring allows increasing the accuracy of detecting milk adulteration with water and diagnosing mastitis.

Keywords: electrical conductivity of milk, milking machine, milk collection chamber.

Kucheruk Volodymyr Yu. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Metrology and Industrial Automatics, e-mail: vladimir.kucheruk@gmail.com ;

Kulakov Pavlo I. — Dr. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Metrology and Industrial Automatics, e-mail: kulakovpi@gmail.com ;

Mostovyi DmytroV. — Post-Graduate Student of the Chair of Metrology and Industrial Automatics, e-mail: trekdemon1993@mail.ru

В. Ю. Кучерук¹
П. И. Кулаков¹
Д. В. Мостовой¹

Средство измерения удельной электропроводности молока в молокоприемной камере

¹Винницкий национальный технический университет

Рассмотрено средство измерения удельной электропроводности молока в молокоприемной камере, которое обеспечивает уменьшение составляющей погрешности измерения, обусловленной неравномерностью силовых линий электрического поля в межэлектродном промежутке. Использование предложенного средства измерения позволяет увеличить достоверность выявления фактов фальсификации молока водой и диагностики мастита.

Ключевые слова: удельная электропроводность молока, доильный аппарат, молокоприемная камера.

Кучерук Владимир Юрьевич — д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии и промышленной автоматике, e-mail: vladimir.kucheruk@gmail.com ;

Кулаков Павел Игоревич — д-р. техн. наук, доцент, профессор кафедры метрологии и промышленной автоматике, e-mail: kulakovpi@gmail.com ;

Мостовой Дмитрий Викторович — аспирант кафедры метрологии и промышленной автоматике, e-mail: trekdemon1993@mail.ru