

УДК 637.115:637.116:621.396.67

В.Ю. КУЧЕРУК, П.І. КУЛАКОВ, Т.В. ГНЕСЬ

Вінницький національний технічний університет

Є.А. ПАЛАМАРЧУК

Вінницький національний аграрний університет

**ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ МАСОВОЇ ЧАСТКИ  
МОЛОКА У ВОДНО-МОЛОЧНОМУ РОЗЧИНІ**

*У статті отримано залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині, при проходженні крізь нього інфрачервоного випромінювання. Створено методику визначення оптимальної довжини хвилі випромінювання для забезпечення максимальної чутливості вимірювання відносної масової частки молока. Результати теоретичних досліджень підтверджено результатами експерименту.*

*Ключові слова:* стійлова доїльна установка, водно-молочний розчин, інфрачервоне випромінювання, фотоприймач.

V. KUCHERUK, P. KULAKOV, T.GNES

Vinnitsa national technical university

E. PALAMARCHUK

Vinnitsa national agrarian university

**MEASURING OF THE RELATIVE MILK MASS FRACTION IN WATER-MILK SOLUTION**

*In article is received the output voltage of photoreceiver based on pair photodiode - operational amplifier dependence from relative mass fraction of milk in water - milk solution, at passage through it of infrared radiation. Created the method for determining the optimum emission wavelength for maximum sensitivity of measuring the relative mass fraction of milk. The results of theoretical research confirmed by experiment.*

*Key words:* stall milking machine, water-milk solution, infrared radiation, photoreceiver.

**Вступ**

Стійлові доїльні установки, які мають найбільше розповсюдження на території України, забезпечують машинне доїння корів у стійлах, транспортування молока за допомогою молокопроводу в молокоприймальну ємність, фільтрацію молока і його перекачування з молокоприймальної ємності в охолоджувальну або перемішувальну установку за допомогою молочного насоса, вимірювання удою, який отриманий кожним дояром. На таких доїльних установках тварини розподілені на групи та вишукані у лінію вздовж молокопроводу, у корівнику знаходиться чотири або вісім таких ліній, кожна лінія обслуговується одним дояром, доїння відбувається з використанням від двох до чотирьох доїльних апаратів. Отримане від кожної тварини у лінії молоко накопичується в дозаторах, які знаходяться у кінці кожної лінії. Після того, як в дозаторі накопичується порція молока визначеного об'єму, спрацьовує автоматичний зливний клапан і порція всмоктується в молокоприймальну ємність, звідки попадає в охолоджувальну або перемішувальну установку [1, 2]. Заробітна плата дояркам нараховується у відповідності з кількістю порцій молока, які сформував дозатор, і які підраховуються спеціальними лічильниками порцій молока.

У кожного дояра, на стійлових доїльних установках, є ємність з водою, яка необхідна для підготовки тварин до доїння. Дуже часто трапляються випадки, коли дояр за допомогою доїльного апарата всмоктує цю воду в молокопровід з метою підвищення показників удою, від яких залежить його заробітна плата. Виявити ці випадки візуально дуже складно, тому як відрізнити водно-молочний розчин від чистого молока людське око не може. Така сама проблема виникає при закупівлі молока у дрібних приватних господарствах. Нечесні постачальники розбавляють молоко водою та здають його в приймальні пункти. Існуючі засоби вимірювання параметрів молока мають високу вартість та не дозволяють проводити оперативний контроль наявності води у молоці, за їх допомогою не можливо виявити дояра, який здійснює фальсифікацію молока. Виходячи з цього, створення методики оперативного вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині є важливим та актуальним завданням.

**Аналіз стану досліджень**

У теперішній час, для виявлення фактів фальсифікації молока, в лабораторних умовах здійснюють вимірювальний контроль температури його замерзання [3]. Таку методику неможливо використати на стійлових доїльних установках у процесі доїння.

На стійлових доїльних установках з молокопроводом, використовуються лічильники порцій молока з давачем, принцип дії якого полягає у наступному [4]. Після проходження порції молока від дозатора через зливний клапан, молоко потрапляє у гнучкий шланг. У перетині шлангу розташована трубка з вмонтованими електродами. При проходженні порції молока через трубку, між електродами змінюється електропровідність, що є ознакою спрацьовування дозатора. При зміні електропровідності давач формує сигнал напруги, що прямо пропорційний значенню електропровідності. У випадку наявності води у молоці,

зміні температури, спінюванні молока, значно збільшується похибка первинного перетворення електропровідності. Вміст води у молоці призводить до зменшення його електропровідності, але внаслідок наявності вищевказаних факторів виявити незначне розбавлення молока неможливо.

Також для підрахунку порцій молока використовується оптичний давач [4], принцип дії якого полягає в наступному. Порція молока проходить через трубку, в яку вмонтовано інфрачервоний світлодіод та інфрачервоний фототранзистор, який працює в ключовому режимі. При проходженні порції молока відбувається переривання світлового потоку, в результаті чого на виході фототранзистора формується імпульс певної тривалості. На основі результатів вимірювання тривалості вихідного сигналу фототранзистора встановлюється факт проходження порції молока. При значній кількості води у молоці, світловий потік проходить крізь нього з незначною втратою потужності. В результаті, порція молока не зараховується, але виявити незначну кількість води у молоці за допомогою вищевказаного давача також неможливо.

### Постановка задачі

З метою подальшого створення засобу оперативного вимірювального контролю наявності води у молоці, необхідно отримати залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині, при проходженні крізь розчин інфрачервоного випромінювання. Для забезпечення максимальної чутливості вищевказаного засобу вимірювального контролю, необхідно створити методику визначення оптимальної довжини хвилі інфрачервоного випромінювання. Отримані результати теоретичних досліджень необхідно підтвердити результатами експерименту.

### Основний текст

Ослаблення монохроматичного випромінювання речовиною визначається законом Бугера-Ламберта-Бера, який зв'язує вихідну та вхідну інтенсивність оптичного випромінювання, при його проходженні через речовину [5]

$$I = I_0 e^{-\alpha c d}, \quad (1)$$

де  $I_0$  - інтенсивність випромінювання, яке падає на речовину;  $d$  - товщина шару;  $c$  - концентрація речовини;  $\alpha$  - коефіцієнт поглинання речовини.

Закон Бугера-Ламберта-Бера може бути записаний з використанням десятичних логарифмів

$$I = I_0 \cdot 10^{-k(\lambda) c d}, \quad (2)$$

де  $k(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції, який є функцією довжини хвилі оптичного випромінювання  $\lambda$ .

Пропускання речовиною випромінювання характеризується коефіцієнтом пропускання, який визначається як

$$K_{PR}(\lambda) = \frac{I}{I_0} = 10^{-k(\lambda) c d}. \quad (3)$$

Важливою характеристикою речовини є її оптична щільність, яка визначається за виразом

$$D(\lambda) = \lg \frac{I_0}{I} = k(\lambda) c d. \quad (4)$$

Проходячи через розчин з  $n$  компонентів, випромінювання кожним з них поглинається по різному. Результуюче поглинання отримується аддитивним накладенням окремих компонентів. Відповідно, оптична щільність  $n$  - компонентної суміші визначається за виразом

$$D(\lambda) = \sum_{i=1}^n k_i(\lambda) c_i d, \quad (5)$$

де  $k_i(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції  $i$  - того компоненту суміші;  $c_i$  - концентрація  $i$  - того компоненту суміші.

Для водно-молочного розчину  $n = 2$ , відповідно, його оптична щільність визначається за виразом

$$D_{VM}(\lambda) = d (k_M(\lambda) c_M + k_V(\lambda) c_V), \quad (6)$$

де  $k_M(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції молока;  $c_M$  - концентрація молока у водно-молочному розчині;  $k_V(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції води;  $c_V$  - концентрація води у водно-молочному розчині.

Об'єм водно-молочного розчину, що поглинає випромінювання, визначається виразом

$$V_K = V_M + V_V = \frac{m_M}{\rho_M} + \frac{m_V}{\rho_V}, \quad (7)$$

де  $m_M$  - маса молока у водно-молочному розчині;  $\rho_M$  - щільність молока;  $m_V$  - маса води у водно-молочному розчині;  $\rho_V$  - щільність води.

Концентрація води у водно-молочному розчині визначається як

$$c_V = \frac{m_V}{V_K} = \frac{m_V}{\frac{m_M}{\rho_M} + \frac{m_V}{\rho_V}} = m_V \frac{\rho_M \rho_V}{m_M \rho_V + m_V \rho_M}. \quad (8)$$

Концентрація молока у водно-молочному розчині

$$c_M = \frac{m_M}{V_K} = \frac{m_M}{\frac{m_M}{\rho_M} + \frac{m_V}{\rho_V}} = m_M \frac{\rho_M \rho_V}{m_M \rho_V + m_V \rho_M} \quad (9)$$

Відносна масова частка молока у водно-молочному розчині визначається як

$$\eta = \frac{m_M}{m_M + m_V} \quad (10)$$

З виразу (10) після нескладних перетворень отримуємо

$$m_V = m_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad (11)$$

Підставимо (11) в (8) та (9), після перетворень отримуємо вирази, які зв'язують концентрацію молока та води у водно-молочному розчині з відносною масовою часткою молока.

$$c_V = \frac{\rho_M \rho_V \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} \quad (12)$$

$$c_M = \frac{\rho_M \rho_V}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} \quad (13)$$

Підставимо (12) та (13) до (6), та після перетворень отримуємо залежність оптичної щільності водно-молочного розчину від відносної масової частки молока

$$D_{VM}(\lambda) = \frac{d \rho_M \rho_V \left( k_M(\lambda) + k_V(\lambda) \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \right)}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} \quad (14)$$

З урахуванням виразу (4), після перетворень отримуємо

$$I = I_0 \cdot 10^{-\frac{d \rho_M \rho_V \left( k_M(\lambda) + k_V(\lambda) \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \right)}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}} \quad (15)$$

Вираз (15) є математичною моделлю поглинання оптичного випромінювання водно-молочним розчином. Цей вираз зв'язує інтенсивність оптичного випромінювання, що проходить через розчин, з відносною масовою часткою молока у розчині. У відповідності з [6, 7], вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, у першому наближенні визначається виразом

$$U_F = I S_{I0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD} \quad (16)$$

де  $S_{VD}$  - площа фоточутливого шару фотодіоду;  $S_{I0}(\lambda)$  - спектральна чутливість фотодіоду;  $R_{ZZ}$  - опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

Підставимо (15) в (16) та отримаємо залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині.

$$U_F(\eta) = I_0 S_{I0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD} \cdot 10^{-\frac{d \rho_M \rho_V \left( k_M(\lambda) + k_V(\lambda) \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \right)}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}} \quad (17)$$

Вирішивши рівняння (3.103) відносно  $\eta$ , отримуємо вираз, який зв'язує відносну масову частку молока у водно-молочному розчині з вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач

$$\eta = \frac{\rho_M \lg \frac{U_F(\eta)}{I_0 S_{I0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}} + d \rho_M \rho_V k_V(\lambda)}{(\rho_M - \rho_V) \lg \frac{U_F(\eta)}{I_0 S_{I0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}} + d \rho_M \rho_V (k_V(\lambda) - k_M(\lambda))} \quad (18)$$

Інфрачервона спектроскопія широко використовується для контролю якості харчових продуктів [5, 8]. Молоко та водно-молочний розчин відносяться до речовин з значним ступенем поглинання інфрачервоного випромінювання в ближній ділянці спектру, яка характеризується довжинами хвиль від 0,75 до 2,5 мкм [5]. Ця обставина зумовлює високу чутливість засобів вимірювання масової частки молока у водно-молочному розчині на основі методів інфрачервоної спектроскопії.

На рис. 1 наведено типові експериментальні спектральні характеристики пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для молока та води, товщина шару яких складає  $d = 10$  мм [5].

Спектральна характеристика пропускання речовини уявляє собою залежність коефіцієнту пропускання, який визначається виразом (3), від довжини хвилі оптичного випромінювання. Коефіцієнт екстинкції з коефіцієнтом пропускання зв'язані співвідношенням

$$k(\lambda) = -\frac{1}{cd} \lg K_{PR}(\lambda) \cdot \quad (19)$$

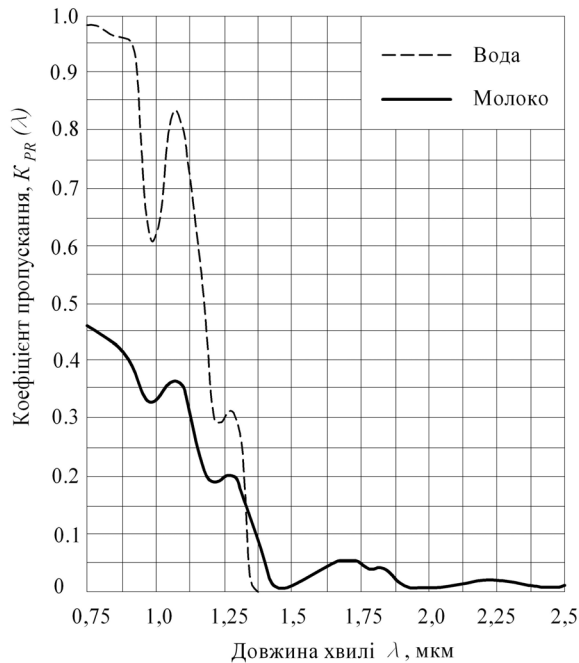


Рис. 1. Типові експериментальні спектральні характеристики пропускання інфрачервоного випромінювання для молока та води, товщина шару яких складає  $d = 10$  мм

Слід відзначити, що форма спектральної характеристики пропускання дуже сильно залежить від товщини шару речовини  $d$ . Математичний вираз, який описує спектральну характеристику пропускання, може бути отриманий тільки шляхом інтерполяції результатів експериментальних даних.

Знайдемо оптимальне значення довжини хвилі оптичного випромінювання, при якій чутливість засобу вимірювання буде максимальною. Є очевидним, що чутливість буде максимальною на тій довжині хвилі, на якій відношення коефіцієнту пропускання води до коефіцієнту пропускання молока буде максимальним. У цьому випадку забезпечується максимальне зменшення поглинання інфрачервоного випромінювання молоком за рахунок наявності води.

Для визначення оптимального значення довжини хвилі інфрачервоного випромінювання проведемо інтерполяцію спектральних характеристик пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для молока та води. Відомо, що якісні результати інтерполяції досягаються при використанні кубічної сплайнової функції, яка складається з кусків кубічних поліномів, при використанні яких неможливі пульсації інтерполуючої функції [9]. Кубічні сплайни уявляють собою кубічні параболи, які в кожному випадку точно проходять через дві опорні точки, які визначаються за експериментальними спектральними характеристиками. Таким чином, спектральну характеристику пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для молока можна представити у вигляді інтерполуючої функції

$$K_{PRM}(\lambda) = \begin{cases} a_{1M} + b_{1M}(\lambda - \lambda_1) + c_{1M}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1M}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2M} + b_{2M}(\lambda - \lambda_2) + c_{2M}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2M}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1M} + b_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (20)$$

де  $a_{iM}, b_{iM}, c_{iM}, d_{iM}$  - коефіцієнти інтерполяційних сплайнів.

Спектральну характеристику пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для води можна представити у вигляді

$$K_{PRV}(\lambda) = \begin{cases} a_{1V} + b_{1V}(\lambda - \lambda_1) + c_{1V}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1V}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2V} + b_{2V}(\lambda - \lambda_2) + c_{2V}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2V}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1V} + b_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N]. \end{cases} \quad (21)$$

де  $a_{iV}, b_{iV}, c_{iV}, d_{iV}$  - коефіцієнти інтерполяційних сплайнів.

Для визначення оптимальної довжини хвилі, на якій відношення коефіцієнту пропускання води до коефіцієнту пропускання молока буде максимальним, знайдемо відношення функції (21) до (20)

$$K_{PR\,MV}(\lambda) = \frac{K_{PR\,V}(\lambda)}{K_{PR\,M}(\lambda)} = \begin{cases} \frac{a_{1V} + b_{1V}(\lambda - \lambda_1) + c_{1V}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1V}(\lambda - \lambda_1)^3}{a_{1M} + b_{1M}(\lambda - \lambda_1) + c_{1M}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1M}(\lambda - \lambda_1)^3}, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ \frac{a_{2V} + b_{2V}(\lambda - \lambda_2) + c_{2V}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2V}(\lambda - \lambda_2)^3}{a_{2M} + b_{2M}(\lambda - \lambda_2) + c_{2M}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2M}(\lambda - \lambda_2)^3}, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ \frac{a_{N-1\,V} + b_{N-1\,V}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1\,V}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1\,V}(\lambda - \lambda_{N-1})^3}{a_{N-1\,M} + b_{N-1\,M}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1\,M}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1\,M}(\lambda - \lambda_{N-1})^3}, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N]. \end{cases} \quad (22)$$

На оптимальній довжині хвилі інфрачервоного випромінювання виконується співвідношення

$$K_{PR\,MV}(\lambda_{OPT}) = \max_{[\lambda_1, \lambda_N]} K_{PR\,MV}(\lambda). \quad (23)$$

Таким чином, знаходження оптимальної довжини хвилі зводиться до вирішення стандартного завдання визначення максимуму функції (22). На рис. 2, а, наведено результати інтерполяції за допомогою кубічних сплайнів спектральних характеристик пропускання води та молока, які наведені на 1, а на рис. 2, б – графік функції, що описується виразом (22).

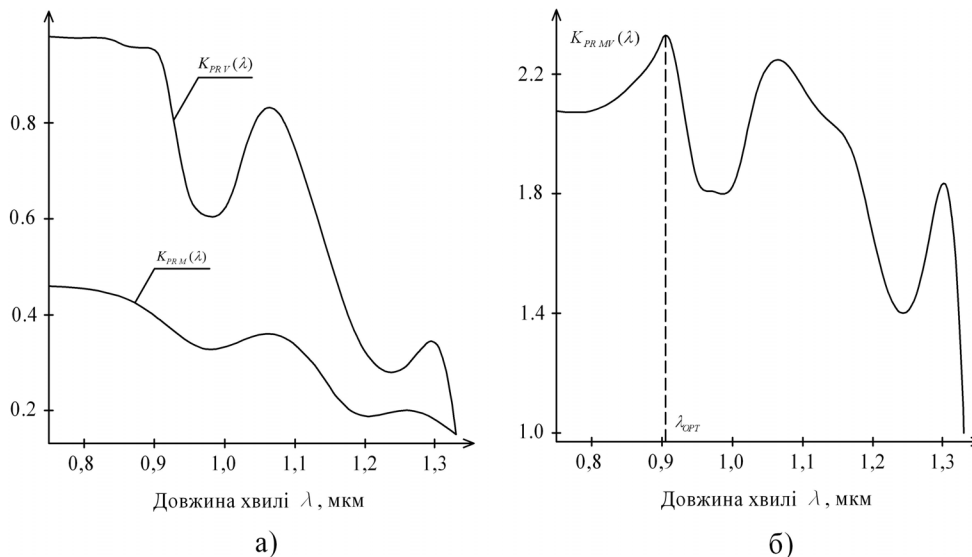


Рис. 2. Результати інтерполяції спектральних характеристик пропускання води і молока та графік відношення їх інтерполюючих функцій. а - інтерполюючі функції спектральних характеристик пропускання води та молока; б - відношення інтерполюючих функцій спектральних характеристик пропускання води та молока

Як слідує з рис. 2, б, оптимальне значення довжини хвилі інфрачервоного випромінювання для визначення відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при  $d = 10$  мм складає приблизно 0,91 мкм. У відповідності з (17), для забезпечення мінімального порогу чутливості, бажано забезпечити максимальне наближення довжини хвилі  $\lambda_0$ , яка відповідає максимуму спектральної характеристики фотодіоду, до оптимальної довжини хвилі інфрачервоного випромінювання. Тобто, в ідеальному випадку, повинно виконуватись співвідношення

$$\lambda_0 = \lambda_{OPT}. \quad (24)$$

На рис. 3, а, наведено сімейство теоретичних залежностей  $U_F(\eta)$  вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при різних значеннях інтенсивності інфрачервоного випромінювання. Вищевказані залежності визначаються за виразом (17), значення  $I_0$  в процесі їх побудови підбиралося таким, щоб забезпечити рівність теоретичних значень з експериментальними при нульовому значенні відносної масової частки молока у водно-молочному розчині. На рис. 3, б, наведено графік експериментальної залежності  $U_{FE}(\eta)$  вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при різних значеннях струму інфрачервоного світлодіоду, які відповідають різним значенням інтенсивності інфрачервоного випромінювання.

У експериментальних дослідженнях у якості випромінювача використовувався інфрачервоний світлодіод ELIR11-21C виробництва компанії Everlight Americas Inc, який має номінальну довжину хвилі інфрачервоного випромінювання 0,94 мкм та максимальний струм 100 мА. Фотоприймач на основі пари фотодіод – операційний підсилювач був реалізований на основі фотодіоду S1336-18BQ виробництва компанії Hamamatsu Photonics, у якого спектральна характеристика має максимум при довжині хвилі випромінювання 0,96 мкм, і який на цій довжині хвилі має інтегральну струмову чутливість 0,5 А/Вт. Певна розбіжність між експериментальними та теоретичними даними зумовлена тим, що у виразі (17) не враховане відбиття інфрачервоного випромінювання від водно-молочного розчину, дифракція випромінювання та його розсіювання шариками жиру у розчині, немонохроматичність джерела випромінювання.

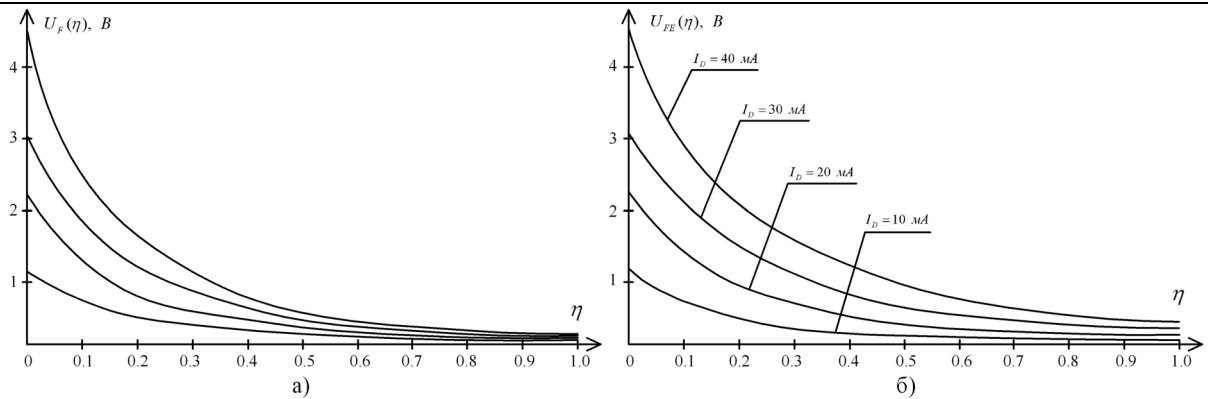


Рис. 3. Сімейства теоретичних та експериментальних залежностей вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині при різних значеннях інтенсивності інфрачервоного випромінювання. а – сімейство теоретичних залежностей; б – сімейство експериментальних залежностей.

### Висновки

В процесі проведення теоретичних досліджень, отримано залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині. На основі вищевказаної залежності можлива реалізація засобу вимірювального контролю наявності води у молоці в процесі доїння на стійлових доїльних установках з метою виявлення фактів фальсифікації молока доярами. Запропоновано методику визначення оптимальної, для вимірювання відносної масової частки молока, довжини хвилі інфрачервоного випромінювання, яке проходить крізь водно – молочний розчин. Адекватність отриманих теоретичних результатів підтверджена експериментальними дослідженнями.

### Література

1. Технологии и оборудование для животноводства ВАТ "Брацлав" [Текст] / Рекламний буклет. - 2010. - 27 с.
2. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
3. Тёпел, А. Химия и физика молока [Текст] / А. Тёпел. - М. : Пищевая промышленность, 1979. – 623 с.
4. Доїльна установка УДМ-200 [Текст] / Технічний опис і інструкція з експлуатації. – Брацлав. - 2002. -165 с.
5. Авраменко, В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов [Текст] / В. Н. Авраменко, М. П. Есельсон, А. А. Заика. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 173 с.
6. Кучерук, В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа-напруга [Текст] / 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.
7. Васілевський, О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів: монографія [Текст] / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков – Вінниця. : ВНТУ, 2011. – 176 с.
8. Боровиков, А. С. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В двух книгах. Книга 1 [Текст] / А. С. Боровиков, Э. И. Вайнберг, В. И. Горбунов и др. ; под общ. ред. В. В. Ключева. – 2-е изд., перераб и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 488 с.
9. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.

### References

1. Tehnologii i oborudovanie dlya zhivotnovodstva VAT "Bratslav" [Text] / 2010. - 27 s.
2. Tsoy, Y. A. Protsessy i oborudovanie dlya doilno-molochnykh otdeleniy zhivotnovodcheskikh ferm [Text] / Y. A. Tsoy. - M. : GNU VIESH, 2010. - 424 s.
3. Tepel, A. Himiya i fizika moloka [Text] / A. Tepel. - M. : Pischevaya promyshlennost, 1979. – 623 s.
4. Doilnaya ustanovka UDM-200 [Text] / Tehnichnyy opys i instruktsiya z ekspluatatsii. – Bratslav. - 2002. -165 s.
5. Avramenko, V. N. Infkrasnye spektry pischevykh produktov [Text] / V. N. Avramenko, M. P. Eselson, A. A. Zaika. – M.: Pischevaya promyshlennost, 1974. – 173 s.
6. Kucheruk, V. Y. Fotoelektrichne vymiryuvalne peretvorenniya ploscha - napruga [Text] / V. Y. Kucheruk, Y. A. Palamarchuk, P. I. Kulakov, T. V. Gnes, Y. Y. Blohin // Mizhnarodniy naukovo-tehnichniy zhurnal "Optiko-elektronni informatsiyno-energetichni tehnologii". - 2014. - № 1 (27). - с. 139 - 145.
7. Vasilevskiy, O. M. Elementy teorii pidvyschennia tochnosti vymiryuvannia ta sinhronizatsii kutovykh shvydkostey rotoriv vzaemozvyazanykh electromotoriv: monografia [Text] / O. M. Vasilevskiy, P. I. Kulakov – Vinnitsia. : VNTU, 2011. – 176 s.
8. Borovikov, A. S. Pribory dlya nerazrusayuscheho kontrolya materialov i izdeliy. V dvuh knigah. Kniga 1 [Text] / A. S. Borovikov, E. I. Vaynberg, V. I. Gorbunov i dr. ; pod red. V. V. Klueva. – 2 izd., pererabot. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 488 s.
9. Zavyalov, Y. S. Metody splayn-funktsiy [Text] / Y. S. Zavyalov, B. I. Kvasov, V. L. Miroshnichenko. – M.: Nauka, 1980. – 352 s.

Рецензія/Peer review : 8.9.2015 р. Надрукована/Printed :14.10.2015 р.