

В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф; П.І.Кулаков, д.т.н., проф.;
Д.В.Мостовий, аспірант; А.П.Кулакова, студент

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОХОДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ КРІЗЬ ВОДНО-МОЛОЧНИЙ РОЗЧИН

Ключові слова: водно-молочний розчин, видимий діапазон, оптичне випромінювання, виявлення води у молоці.

Для подальшої розробки засобів оперативного вимірювального контролю вмісту води у молоці на стійлових доїльних установках необхідно створити математичну модель проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин на основі дослідження його експериментальних характеристик пропускання. За допомогою отриманої математичної моделі можливе визначення оптимальної довжини хвилі випромінювання видимого діапазону для вимірювання малих значень відносної масової частки води у водно-молочному розчині. Розробка нових засобів оперативного вимірювального контролю вмісту води у молоці дозволить виявляти факти фальсифікації молока водою доярами та нечесними постачальниками.

Залежність спектральної характеристики пропускання двокомпонентного водно-молочного розчину від відносної масової частки молока η та довжини хвилі λ визначається виразом [1, 2]

$$I(\lambda)/I_0 = 10^{-\frac{d \rho_M \rho_V (k_M(\lambda) + k_V(\lambda)(1/\eta - 1))}{\rho_V + \rho_M (1/\eta - 1)}}, \quad (1)$$

де ρ_M - щільність молока; ρ_V - щільність води; I_0 - інтенсивність випромінювання, яке падає на розчин; $I(\lambda)$ - інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь розчин; d - товщина шару розчину; $k_M(\lambda)$ - коефіцієнт екстинкції молока; $k_V(\lambda)$ - коефіцієнт екстинкції води; η - відносна масова частка молока у водно-молочному розчині.

Під час проведення досліджень, за допомогою спектрофотометра СФ-4 були отримані експериментальні залежності спектральних характеристик пропускання водно-молочного розчину при значеннях $\eta_1 = 1$ та $\eta_2 = 0.75$ від довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні при $d = 10$ мм. Встановлено, що коефіцієнти екстинкції води та молока визначаються виразами

$$k_V(\lambda_0) = \frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0} - (\rho_V + \rho_M (1/\eta_2 - 1)) \lg \frac{I_2(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V (1/\eta_2 - 1/\eta_1)}, \quad (2)$$

$$k_M(\lambda_0) = -\frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V} - \frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0} - (\rho_V + \rho_M (1/\eta_2 - 1)) \lg \frac{I_2(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V (1/\eta_2 - 1/\eta_1)} (1/\eta_1 - 1), \quad (3)$$

де $I_1(\lambda_0)/I_0$, $I_2(\lambda_0)/I_0$ - результати вимірювання значень спектральних характеристик пропускання при довжині хвилі оптичного випромінювання λ_0 та значеннях відносної масової частки молока η_1 та η_2 відповідно.

Для вимірювання інтенсивності оптичного випромінювання широко використовуються лінійні фотоприймачі на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. У відповідності з [1, 2], залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині визначається виразом

$$U_F(\eta) = I_0 \cdot S_{I_0}(\lambda) \cdot R \cdot S \cdot 10^{-\frac{d \rho_M \rho_V (k_M(\lambda) + k_V(\lambda)(1/\eta - 1))}{\rho_V + \rho_M (1/\eta - 1)}}, \quad (4)$$

що освітлюється; R - опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

В процесі досліджень було проведено математичне моделювання проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин. Для цього була проведена інтерполяція звичайними кубічними сплайнами експериментальних спектральних характеристик пропускання, тобто вони були представлені у вигляді

$$\frac{I_1(\lambda)}{I_0} = \begin{cases} a_{1M} + b_{1M}(\lambda - \lambda_1) + c_{1M}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1M}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2M} + b_{2M}(\lambda - \lambda_2) + c_{2M}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2M}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1M} + b_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{I_2(\lambda)}{I_0} = \begin{cases} a_{1V} + b_{1V}(\lambda - \lambda_1) + c_{1V}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1V}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2V} + b_{2V}(\lambda - \lambda_2) + c_{2V}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2V}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1V} + b_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (6)$$

де $a_{iM}, b_{iM}, c_{iM}, d_{iM}$ - коефіцієнти інтерполюючих кубічних сплайнів експериментальної спектральної характеристики пропускання $I_1(\lambda)/I_0$; $a_{iV}, b_{iV}, c_{iV}, d_{iV}$ - коефіцієнти інтерполюючих кубічних сплайнів експериментальної спектральної характеристики пропускання $I_2(\lambda)/I_0$; $\lambda_1 \dots \lambda_N$ - абсиси вузлів інтерполюючої сплайн-функції.

Сукупність виразів (1) - (6) являють собою математичну модель проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин. Отримана в результаті математичного моделювання теоретична залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині та довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні наведена на рис. 1.

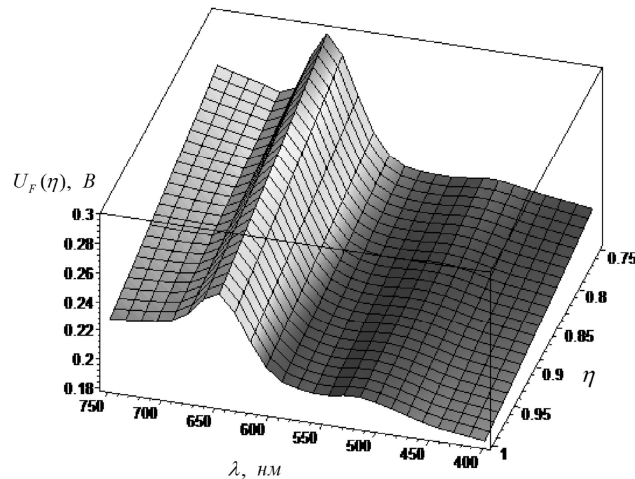


Рисунок 1 – Теоретична залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині та довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні.

Моделювання було проведено у видимому діапазоні оптичного випромінювання для довжин хвиль від 400 нм до 750 нм та діапазоні відносної масової частки молока у водно-молочному розчині від 0.75 до 1. При проведенні моделювання було припущено, що інтегральна чутливість фотодіоду є постійною в усьому діапазоні довжин хвиль. Вибір діапазону відносної масової частки молока у водно-молочному розчині зумовлений тим, що за спостереженнями авторів, при $\eta < 0.75$ людське око починає відрізняти водно-молочний розчин від чистого молока. Як слідує з рис. 1, існує оптимальне значення довжини хвилі, при якому чутливість вимірювального каналу відносної масової частки молока у водно-молочному розчині буде максимальною.

Список літературних джерел

1. Kucheruk, V. Measuring of the relative milk mass fraction in water-milk Solution // V. Kucheruk, P. Kulakov, E. Palamarchuk, N. Storozhuk, W. Wojcik, M. Zhassandykyzy // Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3/2017, p. 83 – 87, doi:10.15199/48.2017.03.20
2. Kucheruk, V. Measurement of the Number Servings of Milk and Control of Water Content in Milk on Stall Milking Machines / V. Kucheruk, P. Kulakov, N. Storozhuk // Proceedings of the International Conference SCIT 2016, May 20-21, 2016, Warsaw, Poland. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. Part V, Volume 543 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp 435-447. – 01 December 2016. – DOI: 10.1007/978-3-319-48923-0_46