

## УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СЕНСОРА ІНТЕНСИВНОСТІ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Удосконалено математичну модель сенсора інтенсивності світлового потоку на основі фотодіоду та операційного підсилювача з використанням запропонованої методики інтерполяції спектральної характеристики фотодіоду. Було встановлено, що похибка інтерполяції не перевищує 3–6%, залежно від типу фотодіоду та форми його експериментально отриманої спектральної характеристики.

**Ключові слова:** пропан, бутан, густина, скраплений нафтовий газ, кількісний вміст компонентів.

### Abstract

The mathematical model of the light intensity sensor based on the photodiode and the operational amplifier has been improved using the proposed technique for the spectral characteristic of the photodiode interpolating. It was found that the interpolation error does not exceed 3–6%, depending on the type of photodiode and the shape of its experimentally obtained spectral characteristics.

**Keywords:** sensor, photodiode, light flux intensity, spectral characteristic, mathematical model.

### Вступ

У роботах [1-4] розглянуто математичні моделі вимірювального перетворювача інтенсивності світлового потоку на основі пари фотодіод – операційний підсилювач. У цих моделях не враховано спектральну характеристику фотодіода, що зумовлює необхідність їх удосконалення.

### Результати дослідження

У відповідності з [5], характер спектральної характеристики фотодіоду залежить від великої кількості факторів та фізичному аналізу не піддається. На основі аналізу матеріалів виробників оптоелектронних компонентів [6 – 8], зроблено висновок, що спектральна характеристика фотодіода має дзвоноподібну форму, дорівнює нулю при певних значеннях довжини хвилі випромінювання, може бути симетричною та асиметричною, при чому коефіцієнт асиметрії може бути менше і більше нуля. Пропонується шукати функцію, яка інтерполює спектральну характеристику фотодіода, у вигляді

$$g(x) = x^{a-1}(1-x)^{b-1}, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$  – певні чисельні параметри функції, від яких залежить асиметрія її графіку. Якщо  $a > b$ , коефіцієнт асиметрії менше нуля і максимум функції зміщений вліво, якщо  $a < b$ , коефіцієнт асиметрії більше нуля і максимум функції зміщений вправо.

В процесі досліджень отримано узагальнюючий вираз для функції, яка інтерполює спектральну характеристику фотодіоду

$$S_{I_0}(\lambda) = S_{I_0}(\lambda_0) \times \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right) \left( 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{MAX}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1} \left( \frac{\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})}}{\log \frac{\lambda_{MIN}(\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN})}{\lambda_{MAX} - \lambda_0}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX} - 1}{\lambda_0}} \times$$

$$\times \left( \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left( \frac{\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})}}{\log \frac{\lambda_{MIN}(\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN})}{\lambda_{MAX} - \lambda_0}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX} - 1}{\lambda_0}}} \times \left( 1 - \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \right)^{\left( \frac{\lambda_{MAX}}{\lambda_0} - 1 \right) \left( \frac{\log \frac{S_{I_0}(\lambda_0)}{S_{I_0}(\lambda_{MIN})}}{\log \frac{\lambda_{MIN}(\lambda_{MAX} - \lambda_{MIN})}{\lambda_{MAX} - \lambda_0}} \right)^{\frac{\lambda_{MAX} - 1}{\lambda_0}}}$$
(13)

де  $\lambda$  - довжина хвилі оптичного випромінювання;  $\lambda_{MAX}$ ,  $\lambda_{MIN}$  – максимальне та мінімальне значення довжини хвилі випромінювання у діапазоні;  $\lambda_0$  – довжина хвилі випромінювання що відповідає максимуму спектральної чутливості;  $S_{I0}(\lambda_0)$  – максимальне значення спектральної чутливості фотодіода.

На рис. 1 наведено типовий експериментальний графік залежності відносної спектральної чутливості фотодіода, яка визначається як відношення  $S_{I0}(\lambda) / S_{I0}(\lambda_0)$ , виражене у відсотках, від довжини хвилі оптичного випромінювання, та графік отриманої інтерполюючої функції.

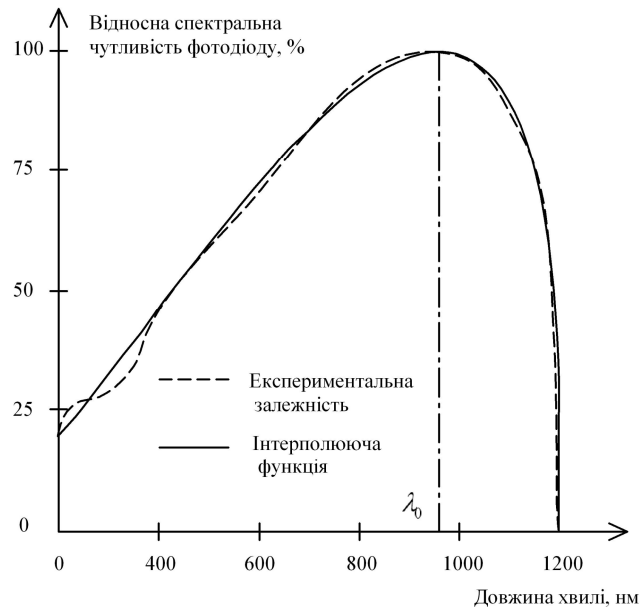


Рисунок 1 – Типова залежність відносної спектральної чутливості фотодіода від довжини хвилі оптичного випромінювання, та графік інтерполюючої функції.

### Висновки

В результаті проведених досліджень запропоновано універсальний метод інтерполяції залежності спектральної чутливості фотодіода від довжини хвилі оптичного випромінювання. Шляхом використання запропонованої інтерполюючої функції, удосконалено відому математичну модель сенсора інтенсивності світлового потоку на основі фотодіода і операційного підсилювача. Встановлено, що похибка інтерполяції при використанні запропонованої функції не перевищує 3–6% в залежності від типу фотодіода та форми його експериментальної спектральної характеристики. Таким чином, вдосконалена математична модель дозволяє підвищити адекватність моделювання та точність розрахунку фотоелектричних сенсорів, а також вимірних приладів на їх основі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Podzharenko V.A. Photoelectric angle converter: Selected papers from the international conference on optoelectronic information technologies / V.A. Podzharenko, P.I. Kulakov // International conference on optoelectronic information technologies. — Vinnitsa, Ukraine: VSTU, 2001. — Vol. 4425. — P. 452–456. DOI: 10.1117/12.429768.
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. — P. V. — Vol. 543 of the series «Advances in Intelligent Systems and Computing». — P. 435–447. — 01 December 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-48923-0\_46.
3. Kucheruk V. Mathematical model of the visible range optical radiation passing through a water-milk solution / V. Kucheruk, I.P. Kurytnik, P. Kulakov, A.N. Vasilevskyi, D.Zh. Karabekova, D. Mostovyi, A. Kulakova // Bulletin of the Karaganda University. Physics series. — 2018. — No. 1(89). — P. 24–31.

4. Kucheruk V. Optical method to determine the quantity of water in milk using the visible radiation range / V. Kucheruk, P. Kulakov, O. Vasilevskiy, D. Mostovyi, A. Kulakova, I.M. Kobylyanska, G. Karnakova, P. Kisala // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018, <https://doi.org/10.1117/12.2501605>
5. Graham B. Introduction to Sensors for Ranging and Imaging / B. Graham. — SciTech Publishing, 2009. — 744 p.
6. Everlight Americas Inc. — [Electronic resource]. — Access: <http://everlightamericas.com>.
7. Infineon Technologies AG. — [Electronic resource]. — Access: <https://www.infineon.com>.
8. ОПТЕК — TT electronics Company — [Electronic resource]. — Access: <http://optekinc.com>.

**Кулаков Павло Ігорович** — докт. техн. наук, професор кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kulakovpi@gmail.com](mailto:kulakovpi@gmail.com)

**Кулакова Анна Павлівна** — студент групи КІВТ-176, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [anna.kulakova1735@gmail.com](mailto:anna.kulakova1735@gmail.com)

**Kulakov Pavlo I.** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Metrology and Industrial Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kulakovpi@gmail.com](mailto:kulakovpi@gmail.com)

**Kulakova Anna P.** - student of KIVT-17b group, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [anna.kulakova1735@gmail.com](mailto:anna.kulakova1735@gmail.com)