

СЕКЦІЯ 5
АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 539.394

**ВПЛИВ ПЛІВКОВОГО ПІДШАРУ ОКСИДІВ ІНДІЮ-ОЛОВА НА РОБОТУ
СЕНСОРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ**

¹Дорожинський Г. В., ¹Федоренко А. В., ²Дорожинська Г. В.

¹Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

²Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: gvdorozinsky@ukr.net, aaartemaa@gmail.com, annakushnir30@ukr.net.

Врахування температурного чинника має важливе значення для покращення точності вимірювань сенсорних приладів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) [1]. Відомо, що головним інформативним параметром таких сенсорів є кутове положення мінімуму рефрактометричної характеристики (кут ППР), величина зсуву якого пропорційна зміні показника заломлення досліджуваного середовища внаслідок зміни його концентрації або протікання фізико-хімічних чи біохімічних реакцій. При цьому зміна температури довкілля та/або досліджуваного середовища створює додатковий зсув кута ППР, що збільшує невизначеність результату вимірювання. Тому застосовують різні методи стабілізації температури як досліджуваного середовища, так ППР-приладу в цілому [2]. У якості джерел теплової енергії переважно використовують резистивні нагрівачі, які споживають значну електричну енергію та є інерційними. Перспективними джерелами теплової енергії є тонкоплівкові напівпровідникові нагрівачі з суміші оксидів індію та олова (ІТО). Висока прозорість в оптичному та ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль дозволяє застосовувати його у якості плівкового нагрівача ППР-сенсорів [3]. При цьому нагрів виконується електричним струмом, що протікає через плівку ІТО, яка знаходиться у безпосередньому тепловому контакті з металевою плазмон-носією плівкою, а значить впливає на розповсюдження плазмон-поляритонів. Тому нами було експериментально досліджено вплив підшару ІТО на значення кута ППР та чутливість ППР-сенсорів у режимі сканування резонансного кута.

Найпростішим чутливим елементом ППР-сенсора є прозора діелектрична підкладка з нанометровою плівкою металу, котрий має високу електричну провідність і хімічну інертність. В рамках проведеного дослідження було створено модифікований чутливий елемент ППР-сенсора з плівковим нагрівачем, який складався з тришарової структури «скло-ІТО-золото», виготовленої за технологією [4]. Для нагріву тришарової структури на контактні області структури подавали постійну напругу величиною 25 В.

Температуру на поверхні структури визначали контактним термодатчиком хромель-алюмель. Рефрактометричні характеристики вимірювались ППР-приладом «Плазмон» з довжиною хвилі 850 нм, розробленим в Інституті фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України [5]. Прилад працював в режимі періодичного кутового сканування та одночасного запису мінімуму вимірюваної рефрактометричної характеристики. Для зменшення впливу змін температури довкілля прилад під час вимірювання розташовували в термостаті при температурі $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Визначення впливу підшару ІТО на чутливість виконували за зміною відгуку ППР-сенсора (відносного зсуву мінімуму рефрактометричної характеристики) на заміщення кімнатного повітря насиченими парами ізопропанолу над структурою «скло-ІТО-золото» за методикою, описаною в роботі [6].

Експериментально було встановлено, що при нагріванні тришарової структури «скло-ІТО-золото» на 25°C (від 25°C до 50°C) без зміни досліджуваного середовища резонансний кут ППР змістився на величину - 54 кут.сек. Вимірювана приладом залежність зсуву кута ППР від температури поверхні півки золота (Рис.1) представлена нелінійною функцією та має спадний характер, а також добре апроксимується поліномом $\theta_{\text{sp}}(t) = A \cdot t^2 + B \cdot t + C$ (де, $A = -2,6 \cdot 10^{-5}$; $B = 1,3 \cdot 10^{-3}$; $C = 44,1$; $R^2 = 0,999$).

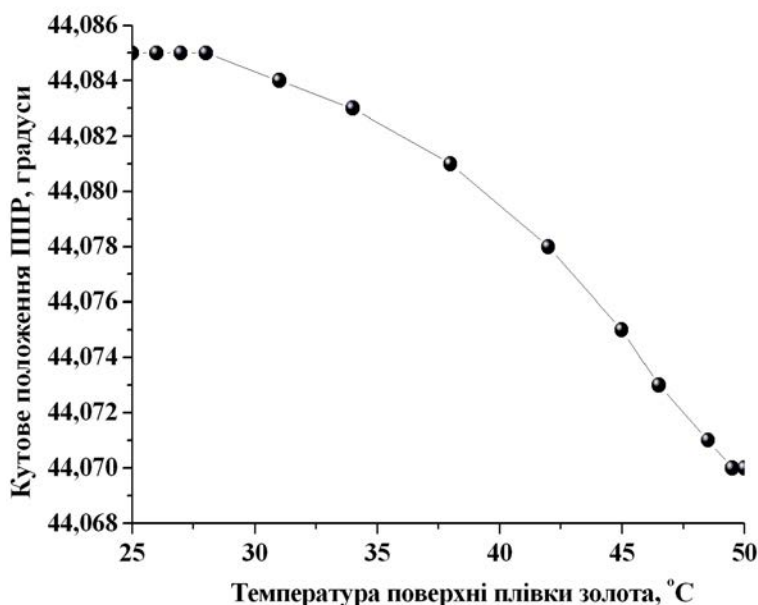


Рис. 1. Вимірювана залежність кута ППР від величини температури поверхні півки золота структури «скло-ІТО-золото» ППР-сенсора

Були визначені основні фактори кутового зсуву положення ППР: температурні зміни показника заломлення матеріалу призми (для К8 $dn/dT \approx 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), досліджуваного середовища (для повітря $dn/dT \approx 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ [7]), а також оптичних коефіцієнтів плівок золота ($dn/dT \approx 3,42 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, $dk/dT \approx 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ [8]) та ІТО. За результатами проведеного за методикою [9] чисельного моделювання рефрактометричних характеристик ППР для

структури «скло-ІТО-золото» було встановлено, що основний вплив на температурний зсув чинить плівка ІТО, оскільки решта чинників створювали кутовий зсув величиною лише -2,8 кут.сек. Тобто 94,8 % від загального зсуву викликані саме змінами оптичних параметрів плівки оксидів олова-індію.

Зміну чутливості визначали як відношення відгуків ППР-сенсора з підшаром ІТО та без нього при пониженій температурі поверхні плівки золота 30°C, щоб мінімізувати температурний вплив. Для чутливого елемента сенсора без підшару відгук становив 25,2 кут.сек., а з підшаром оксидів 113,4 кут.сек. Тобто наявність підшару ІТО збільшує чутливість ППР-сенсора у 4,5 рази.

Отже, експериментально було встановлено, що підшар оксидів олова-індію в ППР-сенсорах підвищує чутливість у 4,5 рази, але при саморозігріві за температури понад 30°C викликає негативний кутовий зсув резонансного кута, що має бути враховано при експлуатації таких типів сенсорів. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні нових ППР-сенсорів з структурами, що мають у складі нанорозмірні плівки ІТО.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, сенсор, оксиди олова-індію, плівковий нагрівач, вплив температури.

Література

- [1] Г. В. Дорожинський, “Оцінка основних похибок вимірювання показника заломлення аналіту приладом на основі явища поверхневого плазмонного резонансу”, *Науковий Вісник Харківського політехнічного інституту*, № 36, с. 20-22, 2015.
- [2] H. V. Dorozinska, T. A. Turu, O. M. Markina, G. V. Dorozinsky, V. P. Maslov, “Influence of Temperature on the Measuring Accuracy of Devices Based on Surface Plasmon Resonance Phenomenon”, *Modern Instrumentation*, vol. 7, pp. 1-10, 2018.
- [3] V. P. Maslov, G. V. Dorozinsky, and N. V. Kachur, “Investigation of Sensors Based on ITO Nanofilms in SPR-Devices”, *American Journal of Optics and Photonics*, vol. 4, no. 3, pp. 20-24, 2016.
- [4] Г. В. Дорожинська, А. В. Федоренко, Г. В. Дорожинський, та В. П. Маслов, “Властивості сенсорів поверхневого плазмонного резонансу з підшаром ІТО”, *Таврійський науковий вісник*, № 3, с. 38-48, 2022.
- [5] V. M. Granchak, et al., “Studying the polymerization efficiency of photosensitive compositions by surface plasmon resonance method”, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, vol. 23, № 4, pp. 393-399, 2020.
- [6] Г. В. Дорожинська, та ін., “Особливості застосування додаткового нанощару політетрафторетилену у сенсорах на основі явища поверхневого плазмонного резонансу”, *Оптоелектроника и полупроводниковая техника*, № 54, с. 88-95, 2019.
- [7] J. C. Owens, “Optical refractive index of air: dependence on pressure, temperature and composition”, *Appl. Opt.*, vol. 6, pp. 51-59, 1967.
- [8] S. K. Özdemir, and G. Turhan-Sayan, “Temperature Effects on Surface Plasmon Resonance: Design Considerations for an Optical Temperature Sensor”, *Journal of light wave technology*, Vol.21, No. 3, pp. 805-815, 2003.
- [9] V. I. Chegel, et al., “Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy”, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, vol. 4, no. 4, pp. 301–306, 2001.

УДК 53.083.92

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ КЕРАМІЧНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ В МОДЕЛЬНОМУ ПРИМІЩЕННІ

¹⁾Басок Б. І., ²⁾Недбайло О. М., ¹⁾Божко І. К., ³⁾Мартенюк В. О.

¹⁾Інститут технічної теплофізики, Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

³⁾Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

E-mail: nan_sashulya@ukr.net, Nedbailo.Oleksandr@iit.kpi.ua, bozhkoik@gmail.com,
vova.marteniuk.95@gmail.com

Метою роботи є одержання та аналіз експериментальних даних, що доцільно використовувати для верифікації теплофізичної моделі теплового режиму окремого приміщення при його опаленні керамічними електричними обігрівачами. Дослідження, результати яких наведено в даній роботі, проводились на базі Інституту технічної теплофізики НАН України. А саме, в науковій теплофізичній лабораторії, що розташована за адресою: м. Київ, вул. Булаховського, 2.

Теплофізична лабораторія представляє собою повномасштабний будинок загальною площею 300 м², що використовується для експериментальних вимірювань теплових величин при його тепловій взаємодії з довкіллям та термостатуванні приміщень. Додаткові задачі лабораторії – дослідження інженерних систем теплозабезпечення для подальшої оптимізації складових компонентів конструкції будинку [1 - 3].

Обігрівачі електричні керамічні для проведення наукових досліджень надані ТОВ «Сигвольт». Конструктивно обігрівачі керамічні (рис. 1) складаються із двох шарів – керамічної плитки та електротермічного плоского елемента, що нанесений на поверхню тильної сторони керамічної плитки.

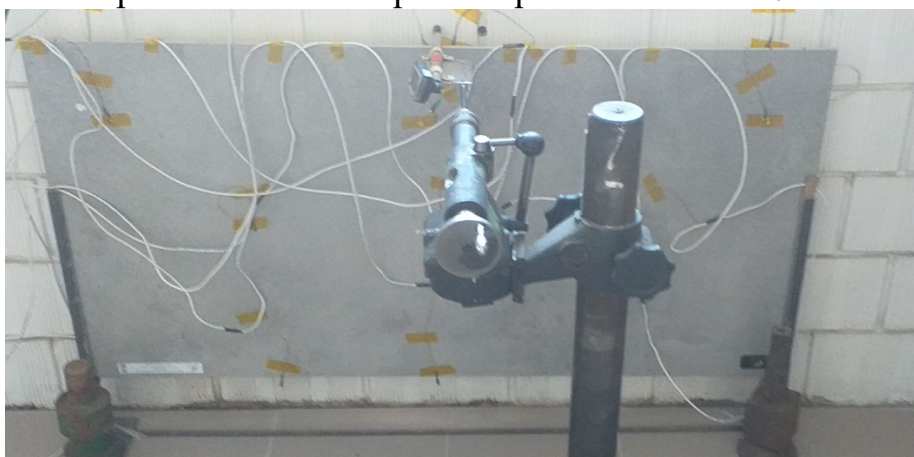


Рис. 1. Обігрівач електричний керамічний «Теплокамінь» із групою датчиків температури на поверхні та термоанемометром в штативі

Геометричні розміри нагрівачів 1,2 x 0,6 м, товщина керамічної плитки 0,008 м. В лабораторному приміщенні під час експериментальних досліджень

розташовувались два керамічні обігрівачі. Лабораторне приміщення має прямокутну форму із розмірами 9,28×3,3 м та висотою 2,75 м. Обігрівачі розташовувались під вікнами на відстані 0,1 м від поверхні зовнішньої стіни. Приміщення має два герметичних віконних отвори 1,0×1,5 м західної орієнтації та двері навпроти вікон, які щільно зачинялись на час проведення дослідів.

Вимірювання значень температури на поверхні кожного керамічного обігрівача виконувалось за допомогою мікроконтролерних вторинних приладів (рис. 2) оригінальної конструкції. Дані прилади були розроблені та виготовлені фахівцями відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій (ТОЕТ) Інституту технічної теплофізики НАН України [4].



Рис. 2. Вторинні прилади для безперервного моніторингу значень температури на експериментальному стенді

До вторинних приладів були приєднані 12 датчиків температури DS18B20. В цілому, комплекс дозволяє одночасно проводити безперервний моніторинг та збереження даних у цифровому вигляді на компактному носії (microSD). Технічні характеристики датчиків температури наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики датчиків температури DS18B20.

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,0..5,5 В
Діапазон вимірювання температури	-55°C +125°C
Точність показань температури	0,5°C
Інтерфейс	1-Wire
Електричний струм	1 мА

Схема розміщення датчиків на кожному керамічному обігрівачі наведена на рис. 3. Датчики Т1-Т3 закріплені на поверхні стіни поза керамічним обігрівачем. Датчики Т10 – Т12 розміщені на 0,02 м нижче нижньої кромки керамічного обігрівача у повітряному просторі між обігрівачем та підлогою.

Додатково для вимірювання швидкості руху та температури повітря в приміщенні лабораторії використовувався термоанемометр TESTO 405i. Діапазон вимірювання швидкості термоанемометра складає до 2 м/с та

температури $-20...50^{\circ}\text{C}$. Прилад було встановлено на штатив та забезпечено дискретну передачу даних у цифровому вигляді на комп'ютер за допомогою інтерфейсу Bluetooth.

Похибка вимірювання склала $\pm 0,1$ м/с (до 5 % для діапазону вимірювань 0..2 м/с) для швидкості руху повітря і $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ для температури.

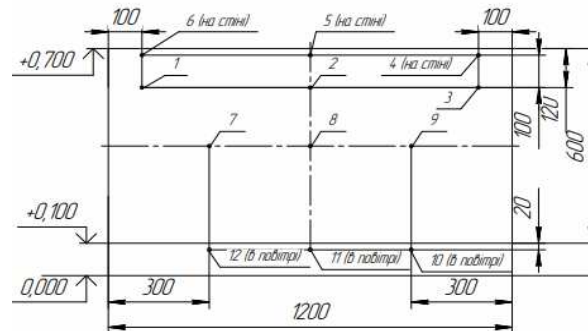


Рис. 3. Схема розміщення датчиків температури на керамічному електричному обігрівачі та довкола нього

Проведені експериментальні дослідження показали, що в штучно створеному квазістаціонарному режимі теплообміну приміщення із навколишнім середовищем температура повітря по висоті лабораторного приміщення змінювалась в незначному інтервалі. Це доводить, що при використанні керамічних електричних обігрівачів в якості опалювальних приладів температура внутрішнього повітря рівномірно розподіляється по приміщенню [4].

Ключові слова: контактне вимірювання температури поверхні, датчик температури, електричний обігрівач.

Література

- [1] И. К. Божко, М. Ф. Калинина, С. М. Гончарук, А. Н. Недбайло, “Теплофизическая лаборатория для исследования особенностей энергоэффективности зданий”, *Кераміка: наука і життя*, №3(24), с. 74 – 83, 2014.
- [2] Б. И. Басок, И. К. Божко, А. Н. Недбайло, О. Н. Лисенко, “Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии”, *Инженерно-строительный журнал*, № 6, с. 32 – 43, 2015. DOI: 10.5862/MCE.58.4
- [3] Б. І. Басок, І. К. Божко, Т. Г. Беляєва, С. М. Гончарук, О. М. Недбайло, М. П. Новіцька, М. В. Ткаченко, М. А. Хибина, “Полівалентна система теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300 м²) на основі використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії”, *Наука та інновації*, 2014. Т. 10, № 6, с. 34 - 52, 2014. DOI: 10.15407/scin10.06.034
- [4] Б. І. Басок, С. М. Гончарук, В. П. Приемченко, М. П. Новіцька, О. М. Недбайло, М. В. Ткаченко, “Експериментальні дослідження теплового режиму приміщення при використанні опалювальних керамічних панелей”, *Ceramics: Science and Life*, 3(52), pp. 15 - 20. DOI: 10.26909/csl.3.2021.2

УДК 543.421/.424

ТЕХНОЛОГІЯ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК З ZnO ДЛЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

*Качур Н. В., Федоренко А. В., Маслов В. П., Самойлов А. В., Христосенко Р. В.,
Дорожінський Г. В., Ляпін О. М.*

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

*E-mail: natalykachur@gmail.com, aaartemaa@gmail.com, vpmaslov@ukr.net,
samoylov_anton@ukr.net, khristosenko@ukr.net, gvdorozinsky@ukr.net, sss001@i.ua*

Вступ

Останні два десятиліття можна спостерігати бурхливий розвиток технології поверхневого плазмонного резонансу (ППР) у клінічній діагностиці, моніторингу навколишнього середовища, відкритті ліків та полімерній інженерії, що охоплює широку сферу охорони здоров'я та біологічних наук [1].

Основні переваги ППР – досліджень полягають у їх неінвазивності, малій кількості аналіта та моніторингу в реальному часі таких реакцій як антиген-антитіло, білок-білок, фермент-субстрат або інгібітор [2], білок-ДНК, рецептор-лікарський засіб, білок-полісахарид [3], білок-вірус [4] тощо.

Висока чутливість методу обумовлена властивостями саме резонансної природи плазмон-поляритонного колювання. ППР-прилади застосовуються в лабораторних умовах і є потенційна можливість подальшого зменшення габаритних розмірів для використання в польових умовах.

Однією з проблем роботи з приладам на основі ППР є низька стійкість плівки золота чутливого елементу сенсора до зовнішніх впливів. При термічній обробці за температури понад 400 С спостерігалось зникнення ППР, яке обумовлене неможливістю розповсюдження поверхневих плазмонів в термічно обробленому шарі золота.

В роботі було запропоновано та розглянуто використання оксиду цинку в якості термостійкого покриття для сенсора на основі ППР.

Матеріали і методи

Чутливий елемент для ППР-приладу виготовляли вакуумним нанесенням золота на підкладку зі скла ТК-14. Для нанесення оксиду цинку на плівку золота використовували золь-гель технологію [5]. Для цього 2,7 мг ацетату цинку розчиняли в 100 мл етилацетату та перемішували магнітною мішалкою при температурі 60 - 80°C протягом 20 хвилин. В якості стабілізатора додавали 2 краплі молочної кислоти. В результаті отримували колоїдний розчин типу золь. Отриманий розчин витримували за кімнатної температури протягом 24 годин для утворення гелю.

Чутливі елементи поміщали в центрифугу і піпетдозатором наносили на поверхню золота синтезований гель. Зразки висушувались при обертанні центрифуги з частотою 100 об/хв. та одночасному потоці повітря з

температурою 70°C [6]. Висушені зразки відпалювали в муфельній печі 2 години за температури 250°C для вилучення залишків розчинника, а потім ще 20 хвилин за температури 500°C для утворення плівки оксиду цинку.

Дослідження готових зразків проводили на ППР-приладі «Плазмон-6» на довжині хвилі 650 нм, який побудовано в геометрії Кретчмана. На рефрактометрі ППР було виміряні 3 рефрактометричні характеристики чутливого елемента на різних етапах формування плівки оксиду цинку: 1) до нанесення гелю; 2) після нанесення гелю та термічної обробки за температури 250°C; 3) після термічної обробки за температури 500°C. Виміряні рефрактометричні характеристики представляли собою залежності напруги на виході фотоприймача ППР-сенсору приладу «Плазмон-6» від кута падіння світла лазера на межу поділу скло-золото.

Результати і обговорення

Після нанесення на наночар золота оксиду цинку при термічній обробці при 500 °C, зберіглось дзеркальне відбиття світла на відміну від зразків без оксиду цинку. В цих зразках замість дзеркального відбиття світла було дифузне відбиття, що пов'язане зі створенням окремих зерен золота за рахунок поверхневої дифузії та кристалізації та дефектах поверхні. Форма та кутове положення ППР в зразках з покриттям оксиду цинку майже не змінились, що свідчить про ефективні термозахисні властивості цього наночару. Наявність наночару оксиду цинку призводить до незначного зміщення рефрактометричної характеристики ППР у бік більших кутів падіння: відносний зсув критичного кута становив 0,0053 %, а резонансного 0,08 %.

Виміряні на ППР-приладі рефрактометричні характеристики на різних етапах формування захисної плівки оксиду цинку наведено на рисунку 1.

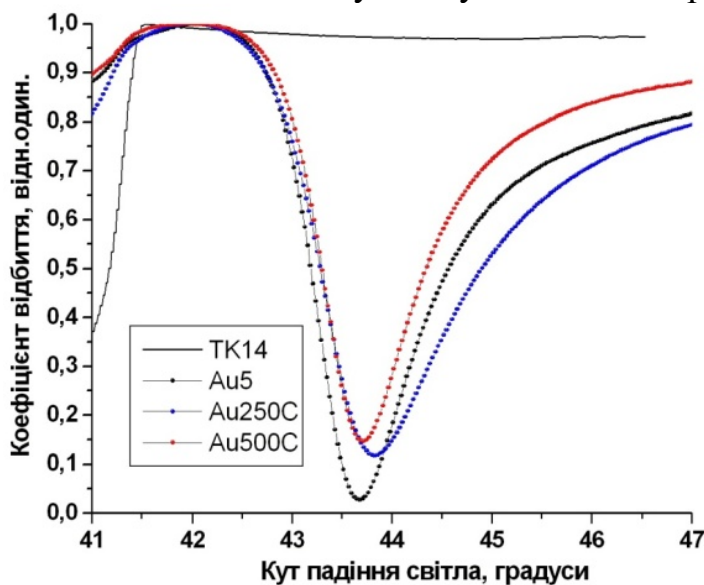


Рис. 1. Виміряні рефрактометричні характеристики ППР: скляної підкладки без плівки золота (Тк14), чутливого елемента до нанесення гелю (Au5), після нанесення гелю та термічної обробки при температурі 250°C (Au5), термічної обробки при температурі 500°C.

Висновок

Розроблена технологія нанесення наночастинок оксиду цинку ефективно захищає чутливий елемент при зовнішніх термічних впливах до 500 °C і забезпечує незначні зміни ППР-характеристик приладу.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, оксид цинку, захисний наночастинок, золь-гель технологія.

Література

- [1] P. D'Orazio, "Biosensors in clinical chemistry - 2011 update", *Clin. Chim. Acta*, vol. 412, pp. 1749-1761, 2011.
- [2] H. Nguyen, J. Park, S. Kang, and M. Kim, "Surface plasmon resonance: A versatile technique for biosensor applications", *Sensors*, vol. 15, pp. 10481-10510, 2015.
- [3] S. G. Patching, "Surface plasmon resonance spectroscopy for characterisation of membrane protein-ligand interactions and its potential for drug discovery", *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.*, vol. 1838, pp. 43-55, 2014.
- [4] E. Helmerhorst, D. J. Chandler, M. Nussio, and C. D. Mamotte, "Real-Time and label-free biosensing of molecular interactions by surface plasmon resonance: A laboratory medicine perspective", *Clin. Biochem. Rev.*, vol. 33, pp. 161-173, 2012.
- [5] Г. С. Катрич, С. І. Петрушенко, О. В. Боцула, "Оптичні характеристики плівок ZnO вирощених золь-гель методом", *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка»*, vol. 35, pp. 79-85, 2021.
- [6] В. П. Маслов, Н. В. Качур, Г. В. Дорожинський, Г. В. Дорожинська, А. В. Федоренко, А. В. Самойлов, Р. В. Христосенко, "Золь-гель спосіб формування плівок оксиду цинку", *заявка на патент України на корисну модель u202301296 від 27.03.2023 р.*

УДК 665.71

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ФОТОМЕТРИЧНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ МОТОРНИХ ОЛИВ

Рожков В. В., Дорожинська Г. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: rvv2002i.ua@gmail.com, annakushnir30@ukr.net

Масляні матеріали використовуються в різних галузях промисловості, включаючи металургію, металообробку, машинобудування, гірничодобувну та автомобільну промисловість. Серед них автомобільна промисловість є однією з найбільших галузей споживачів масляних матеріалів. Проте, вимоги екологічних стандартів змушують виробників збільшувати частку масел з енергозберігаючими та біорозкладаючими властивостями, тим самим скорочуючи термін їх придатності. В процесі експлуатації олива зазнає фізико-хімічних змін, тому часто один або кілька показників якості досягають межі придатності до очікуваної заміни.

Для запобігання випадінню продуктів окислення в оливі вводять спеціальні присадки, зменшення яких призводить до різкого падіння експлуатаційних характеристик, що в свою чергу призводить до швидкого

знос двигуна. Тому вивчення міцності моторної оливи до деградації є важливим напрямком покращення ресурсу двигуна та діагностики оливи під час експлуатації.

Основними й найбільш розповсюдженими методами діагностики якості моторної оливи є: фотометрія, флуоресцентний аналіз, інфрачервона Фур'є-спектроскопія, атомно-абсорбційна спектрометрія, імпедансометрія і метод зважування. Нами за основу для проектування приладу було взято фотометричний метод [1], суть якого полягає у визначенні оптичної щільності на певній довжині хвилі опромінення зразка моторної оливи та оцінка ступеню забруднення оливи. Перевагами цього методу є простота у реалізації та зчитуванні результату, потреба у невеликій кількості досліджуваної оливи (0,3–2,0 мл), висока швидкість аналізу (декілька секунд).

Об'єктом дослідження були зразки синтетичної оливи марки Hyundai Super Extra 5W-30 після пробігу в автомобілі марки «KIA Rio» (загальний пробіг автомобіля 133 тис. км) [2]. Було досліджено 4 зразки моторної оливи з різним пробігом в автомобілі: 47, 147, 292, та 549 км. Для визначення оптимальної довжини хвилі для фотометричних досліджень були виміряні спектри поглинання зразків моторної оливи в діапазоні довжин хвиль 350...600 нм (Рис. 1). Оптимальну довжину хвилі обирали з переліку довжин хвиль оптичного діапазону комерційно-доступних напівпровідникових лазерів (409 нм, 450 нм, 532 нм, 650 нм) та за максимальною роздільною здатністю.

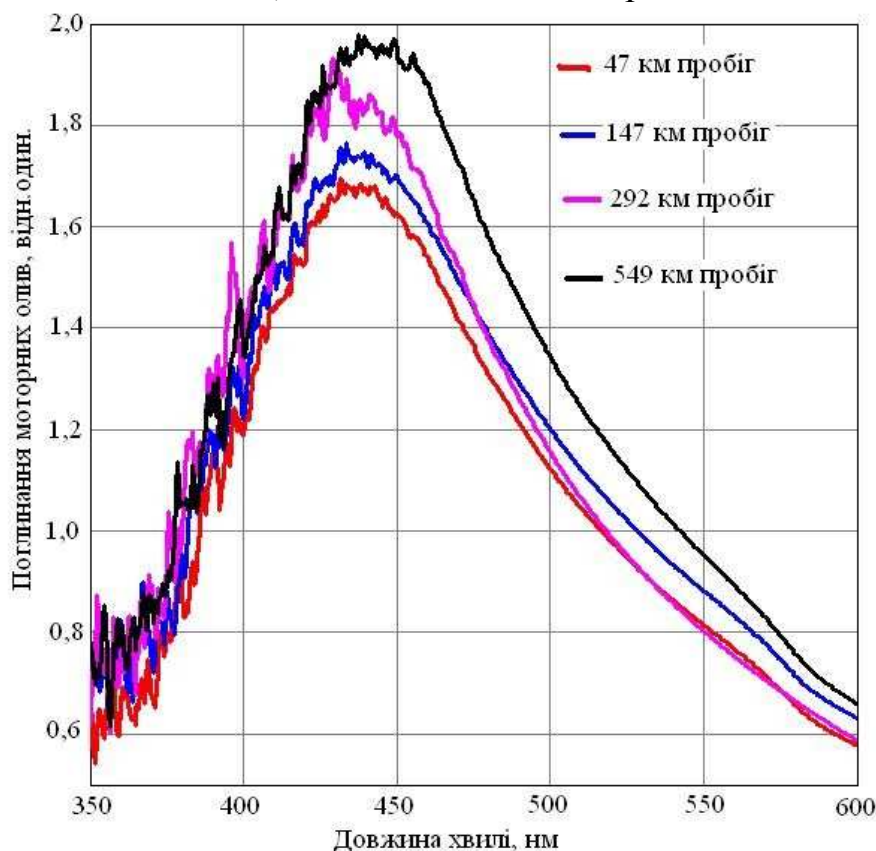


Рис. 1. Виміряні спектри поглинання зразків синтетичної моторної оливи марки Hyundai Super Extra 5W-30 з різним терміном пробігу автомобіля

Відповідне значення коефіцієнта оптичного пропускання T для досліджуваних зразків було розраховано за відомою формулою: $T = 10^{-A}$, де A – коефіцієнт оптичного поглинання.

Графік залежності нормованого оптичного пропускання від пробігу автомобіля для різних довжин хвиль випромінювання показано на рисунку 2. Найбільший динамічний діапазон за величиною нормованого коефіцієнту пропускання 0,5 забезпечується для довжини хвилі лазера 450 нм, а найменший 0,08 для довжини хвилі 650 нм.

При цьому найбільша зміна абсолютного значення коефіцієнта пропускання зразка моторної оливи, що відпрацювала в двигуні автомобіля 549 км, визначена для довжини хвилі лазера 532 нм, а саме 4 %. Динамічний діапазон за величиною нормованого коефіцієнту пропускання для цієї довжини хвилі лазера становить 0,3.

Отже, оптимальна довжина хвилі, яка забезпечує максимальну роздільну здатність для порівняння моторної оливи з різним терміном експлуатації, становить 532 нм. Результати проведеного дослідження будуть використані у процесі розробки фотометричного приладу для визначення деградації моторних олив.

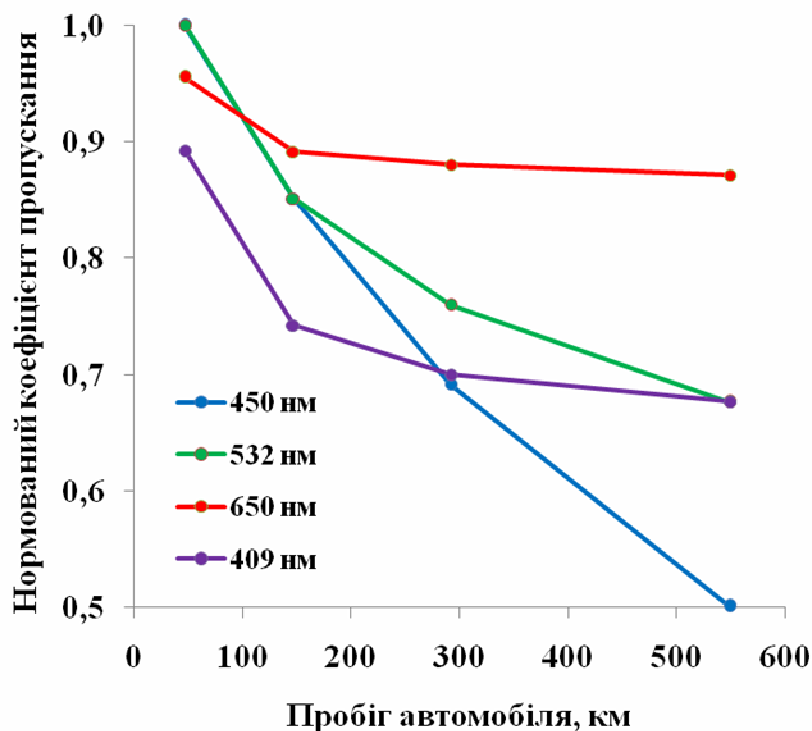


Рис. 2. Розрахована залежність нормованого оптичного пропускання зразків синтетичної моторної оливи марки Hyundai Super Extra 5W-30 від терміну пробігу автомобіля

Ключові слова: фотометрія, моторні оливи, деградація.

Література

- [1] Л. А. Назаренко, В. М. Поліщук та Л. Г. Баландаєва, "Спектрорадіометричні методи", *Lighting Engineering & Power Engineering*, № 2, с. 3-15, 2008.

- [2] Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, “Особливості рефрактометричних характеристик поверхневого плазмонного резонансу моторних олиф при експлуатації,” *Optoelectron. Semicond. Tech.*, № 53, с. 261-267, 2018, DOI: 10.15407/jopt.2018.53.261.

УДК 535.012.2

ВИГОТОВЛЕННЯ КРИСТАЛІЧНИХ СУПЕРАХРОМАТИЧНИХ ХВИЛЬОВИХ ПЛАСТИН

Самойлов Антон

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

E-mail: samoylov_anton@ukr.net

Необхідним елементом для проведення поляриметричних вимірювань є хвильові пластини, а спектрополяриметричних вимірювань – ахроматичні і суперахроматичні хвильові пластини [1], [2]. Стандартним двопротенезаломлюючим матеріалом для виготовлення хвильових пластин є одновісні кристали (кристалічний кварц, MgF_2 , безбарвний сапфір (Al_2O_3) [3] та ін. Показники заломлення для світла з поляризацією вздовж осі кристала n_0 і з поляризацією перпендикулярної осі кристала n_e відрізняються, за рахунок чого при проходженні світла через кристалічну пластину в напрямку, перпендикулярному осі кристала, набігає зсув фаз τ , пропорційний товщині хвильової пластини d і величині двопротенеломлення $\Delta n = n_0 - n_e$.

$$\tau = 2 \pi (n_0 - n_e) d / \lambda,$$

де λ – довжина хвилі світла.

Наведено особливості виготовлення кристалічних хвильових пластин, що складаються з п'яти компонентів, кожна з яких зібрана «на віднімання» з двох пластин. Конструкцію десятиелементної хвильової пластини показано на Рис.1.

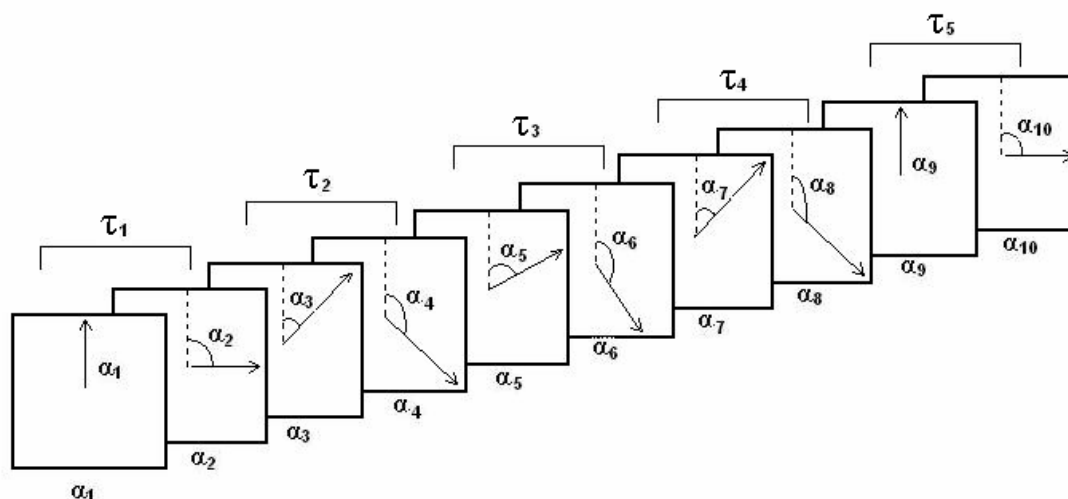


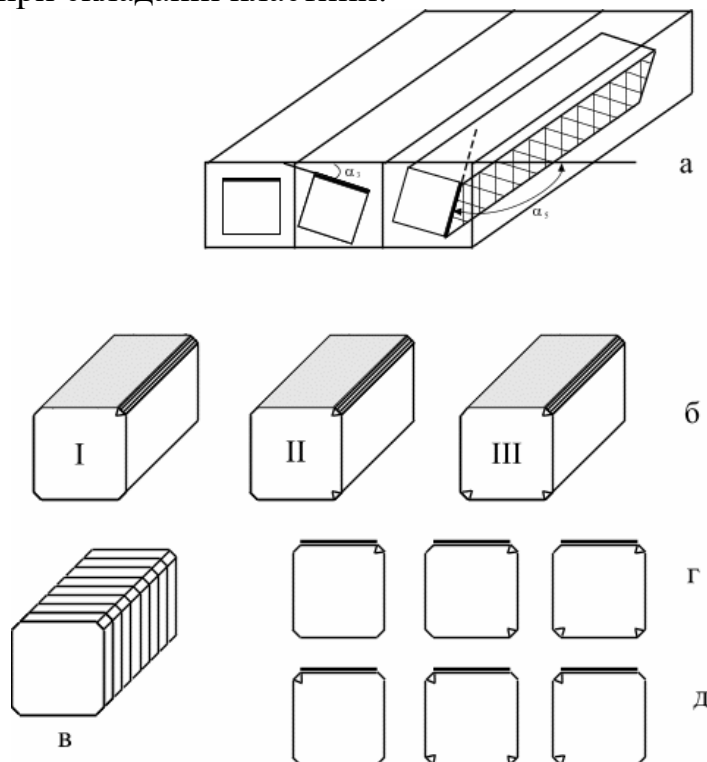
Рис. 1. Конструкція десяти елементної суперахроматичної хвильової пластинки

Процес виготовлення можна розбити на такі етапи:

1. Орієнтування та розрізання кристалів на стовпчики.

2. Розрізання стовпчиків на компоненти.
3. Шліфування та полірування першої сторони.
4. Шліфування, полірування з дотриманням необхідної товщини другої сторони базових пластин компонентів.
5. З'єднання на оптичному контакті «на віднімання» обох складових компонентів.
6. Шліфування, полірування з доведенням до потрібної товщини другої складової компонентів.
7. Складання багатокомпонентної хвильової пластинки.

Блок кристалічного кварцу повинен мати площину, орієнтовану перпендикулярно до оптичної осі з точністю 1 – 2 кутових хвилини. Блок розрізають на три стовпчики і зішліфовують їх таким чином, щоб сторона першого стовпчика була перпендикулярна до оптичної осі (I), другого під кутом α_3 до цієї площини (II), третього під кутом α_5 як показано на Рис. 2 (а). Для чвертьхвильової пластини ці значення становлять $\alpha_3 = 51,5^\circ$, $\alpha_5 = 123,16^\circ$. Відразу доцільно зробити фаски і помітити стовпчики канавками та відполірувати виділені площини, як показано на Рис. 2 (б). Це необхідно, щоб не було помилки при складанні пластини.



Далі стовпчики розрізаються на пластини, як показано на Рис. 2 (в). При цьому необхідно контролювати, щоб площина пластин була перпендикулярна сторонам стовпчиків. Шліфування та полірування першої сторони для всіх пластин I, II та III може здійснюватися одночасно в єдиному блоці. При цьому

необхідно стежити, щоб усі деталі встановлювалися на блок так, як показано на Рис. 2 (г). Приклади неприпустимої установки показані на Рис. 2 (д).

Після шліфування, полірування з доведенням до потрібної товщини компонентів, вони складаються у багатокомпонентні суперахроматичні хвильові пластини. На Рис. 3. наведено характеристику чвертьхвильової пластини, на Рис. 4. наведено характеристику напівхвильової пластини.

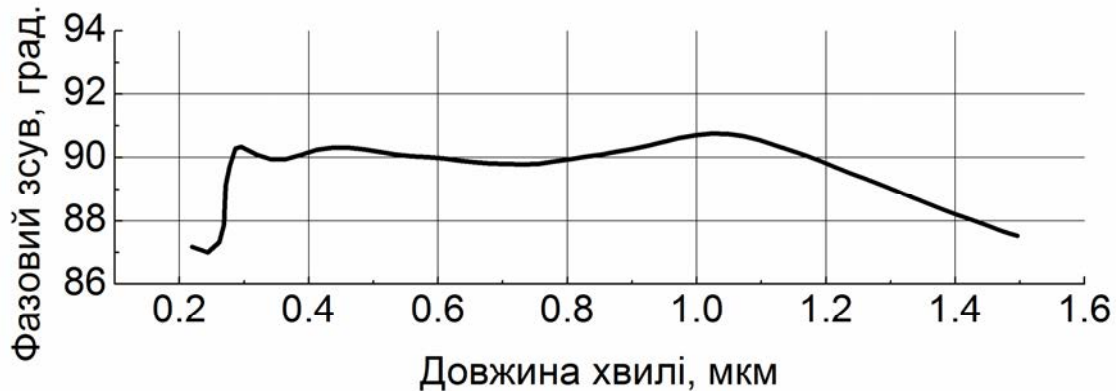


Рис. 3. Спектральна залежність фазового зсуву для чвертьхвильової пластини

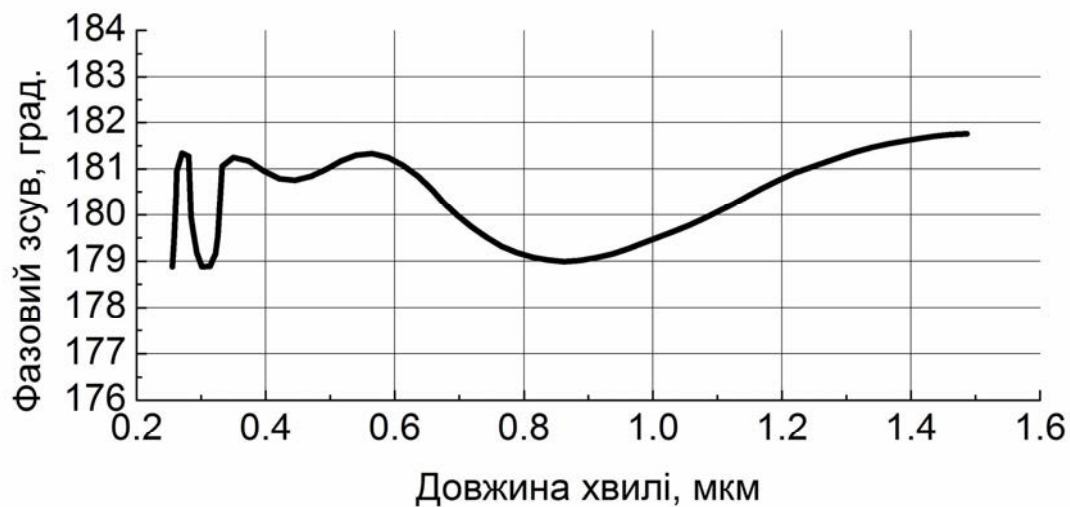


Рис. 4. Спектральна залежність фазового зсуву для напівхвильової пластини

Ключові слова: поляриметрія, фазовий зсув, суперахроматична хвильова пластина.

Література

- [1] О. И. Бугаенко, А. Л. Гуральчук «Астрономический спектрополяриметр 1. Основные принципы работы», *Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел*. Киев, Наукова думка, с. 160-164, 1985.
- [2] Y Ikeda et al., «Development of high resolution spektropolarimeter», in *Pros. SPIE*, pp. 437-47, 2003.
- [3] K. Serkowski, «Polarization techniques», *Methods of experimental physics. Astrophysics*. New York, London, Acad. Press, 1974, pp. 361-414.

УДК 665.71

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕФРАКТОМЕТРИЧНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ МОТОРНОЇ ОЛИВИ

Жидков В. В., Дорожинська Г. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: v.zhydkov01@gmail.com, annakushnir30@ukr.net

Моторна олива (МО) відіграє важливу функцію у роботі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), відповідає за процес зносу деталей та термін експлуатації. У свою чергу це пред'являє підвищені вимоги до якості та відповідності олив заявленим виробником експлуатаційним характеристикам, оперативний контроль яких дозволяє найбільш ефективно проводити експлуатацію ДВЗ.

Основними критеріями якості олив є значення кінематичної в'язкості, що відповідають роботі ДВЗ в різних температурних режимах: режим пуску і режим прогрітого двигуна. При цьому виділяють мінеральні, напівсинтетичні та синтетичні МО з відповідною класифікацією кінематичної в'язкості за SAE (Society of Automotive Engineers): 15W-40, 10W-40 та 5W-30. Стандартні віскозиметричні методи контролю кінематичної в'язкості (ISO 3104-94 та ін.) не задовольняють критеріям проведення експресного аналізу, оскільки важко піддаються автоматизації, вимагають значних обсягів проб, тривалі за часом та використовують габаритне обладнання. Експресне визначення типу моторної оливи необхідне для виявлення фальсифікату.

В роботах [1, 2] показана можливість визначення типу МО шляхом комплексних вимірювань її рефрактометричної та електрофізичної характеристик (показника заломлення і питомого опору) завдяки наявності кореляційних залежностей між типом МО і вказаними параметрами. Обидва параметри були визначені опосередковано за допомогою відповідного математичного апарату. При цьому питомий опір визначали методом спектральної імпедансометрії, а показник заломлення методом поверхневого плазмонного резонансу [3]. Обидва методи є складними і потребують спеціалізованого аналітичного обладнання. Тому нами було запропоновано простіший рефрактометричний метод визначення типу МО за значенням критичного кута, величина якого безпосередньо пов'язана з відповідним її показником заломлення. Дана робота була присвячена оптимізації параметрів автоматизованого рефрактометричного приладу, а саме визначення необхідного діапазону кутового сканування та довжини хвилі.

Об'єктом дослідження були 9 зразків МО різних типів: синтетичні (Motul 5w-40, Castrol Magnatec 5w-40, GM Genuine 5w-30), напівсинтетичні (ELF 10w-40, ЛЕОЛ 10w-40, Akvilon EXTRA10w-40) і мінеральні (BARS 15w-40, LUX 15w-40, Akvilon Classic 15w-40). На рефрактометрі RL3 ($\Delta n_D = 1,32 \dots 1,70$; абсолютна похибка вимірювання $\delta n_D = \pm 2 \cdot 10^{-4}$), були виміряні значення

показників заломлення досліджуваних зразків МО та розраховані відповідні значення критичних кутів θ_c для призми розроблюваного рефрактометра зі скла марки Ф1 з показником заломлення $n_D = 1,6128$ (Таблиця 1).

Таблиця 1. Результати вимірювань та розрахунків параметрів досліджуваних МО

№ п.п.	Тип МО	Марка МО	n_D	$\theta_c(n_D)$, град.	n_{650}	$\theta_c(n_{650})$, град.
1	синтетична	Motul	1,4645	65,236	1,456506	65,229
2	синтетична	Castrol Magnatec	1,4650	65,279	1,45701	65,272
3	синтетична	GM Genuine	1,4670	65,449	1,458995	65,442
4	напівсинтетична	ELF	1,4705	65,751	1,462488	65,744
5	напівсинтетична	ЛЕОЛ	1,4795	66,542	1,471458	66,536
6	напівсинтетична	Akvilon EXTRA	1,4860	67,132	1,477946	67,125
7	мінеральна	BARS	1,4850	67,037	1,476954	67,034
8	мінеральна	LUX	1,4865	67,174	1,478446	67,171
9	мінеральна	Akvilon Classic	1,4885	67,358	1,480426	67,354

Оскільки для точного визначення критичного кута необхідно мати монохроматичне когерентне джерело випромінювання, тобто лазер, було прийнято рішення застосовувати довжину хвилі відмінну від спектральної лінії D (589,3 нм – жовтий лазер), а перейти на більш довгохвильове джерело – червоний лазер з довжиною хвилі 650 нм. Також було враховано дисперсію показника заломлення матеріалу призми: показник заломлення для довжини хвилі 650 нм становив $n_{650} = 1,6041$. Враховуючи дисперсію показника заломлення МО, було зроблено нові розрахунки значень критичних кутів (Таблиця 1).

За результатами вимірювання та розрахунків було встановлено діапазони критичних кутів для відповідних типів моторних олив, а саме: 1,45-1,48. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення були побудовані рефрактометричні характеристики повного внутрішнього відбиття для значень показників заломлення досліджуваних зразків МО на краях діапазонів для довжини хвилі опромінення 650 нм межі поділу скло-МО (Рис.1).

Оскільки форма реальної рефрактометричної характеристики в околі критичного кута [4] не має екстремумів і згладжена через неоднорідність межі скло-МО, тому було прийнято рішення виконувати вимірювання не безпосередньо кутового положення критичного кута, а порівнювати моторні оливи за величиною кута відбиття на рівні 0,7 від максимуму інтенсивності відбитого світла (Рис. 1). У цьому випадку діапазон сканування становив майже 2 кутові градуси від 65,16 до 67,28 градуси. Для можливості калібрування розроблюваного приладу діапазон сканування було розширено до 7,5 градусів: від 61,25 до 68,75 градуси.

Таким чином за результатами вимірювання та розрахунків було визначено необхідний діапазон сканування автоматизованого рефрактометра та обрана довжина хвилі.

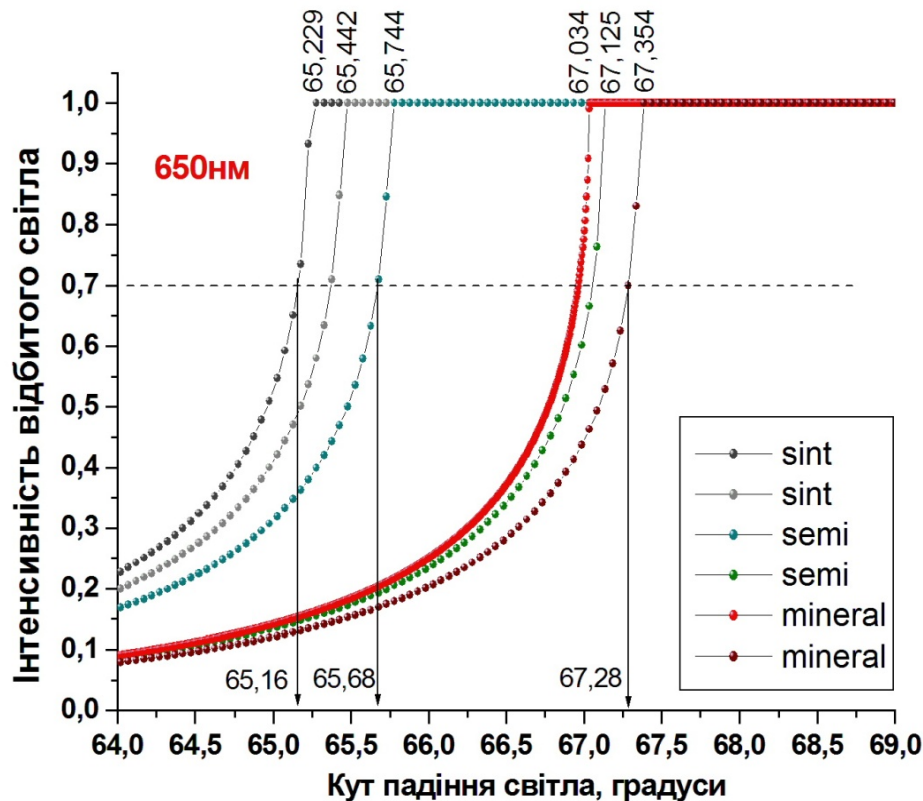


Рис. 1. Розраховані характеристики відбиття для довжини хвилі 650 нм зразків моторної оливи різних типів: синтетичної (sint), напівсинтетичної (semi) та мінеральної (mineral)

Результати проведеного дослідження будуть використані у процесі розробки відповідного приладу для визначення типу МО.

Ключові слова: рефрактометрія, моторні оливи, критичний кут.

Література

- [1] Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, О. Л. Кукла, Л. М. Матвієнко, А. В. Мамикін, та В. П. Маслов, “Высокоинформативный комплексный метод определение типа моторного масла”, *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, № 3-4, с. 36-44, 2019.
- [3] Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, О. Л. Кукла, А. В. Мамикін, та В. П. Маслов, “Спосіб визначення типу моторної оливи”, *Патент України № 137482*, Жов. 25, 2019.
- [4] A. I. Liptuga, G. V. Dorozinsky, V. I. Gordienko, V. P. Maslov, and V. V. Pidgornyi, “Diagnostics of motor oil quality by using the device based on surface plasmon resonance phenomenon”, *Scholars Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, pp. 372–374, 2015.
- [5] К. В. Костюкевич, Ю. М. Ширшов, Р. В. Христосенко, А. В. Самойлов, Ю. В. Ушенин, С. А. Костюкевич, и А. А. Коптюх, “Особенности углового спектра поверхностного плазмон-поляритонного резонанса в геометрии Кретчмана при исследовании латексной водной суспензии”, *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*, Вып. 53, с. 220-239, 2018.

ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СУСПЕНЗІЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Федоренко А. В., Качур Н. В.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

E-mail: aaartemaa@gmail.com, natalykachur@gmail.com

Відомо, що суспензія – це дисперсна система з рідким дисперсійним середовищем та твердою диспергованою (дисперсною) фазою, частинки якої достатньо великі, щоб протидіяти броунівському руху. Такі системи широко застосовуються в медицині та промисловості.

Суспензії займають значне місце серед рідких лікарських форм [1]. Найбільшу групу всіх використовуваних суспензій складають суспензії для внутрішнього застосування, до складу яких входять лікарські препарати, що належать до багатьох фармакотерапевтичних груп. Суспензії дозволяють широко варіювати споживчі якості речовинами, що коригують, маскують неприємний смак і запах ліків. Крім того, обволікаючи дія ряду лікарських речовин найповніше виявляється при їх застосуванні у вигляді суспензій.

Підвищення сталості суспензії шляхом ретельного подрібнення лікарських речовин є прерогативою фармацевта. При цьому важливим є вирішення проблеми отримання біологічно доступних суспензій, що мають фізичну стійкість, хімічну стабільність і приємні на смак. Цим і пояснюється актуальність вивчення цієї лікарської форми.

В промисловості, з розвитком нанотехнологій та наноматеріалів, суспензії широко використовуються для отримання керамічних матеріалів високої якості. У виробництві виробів із кераміки широко застосовується лікер [2], а для виготовлення якісних та високонадійних виробів постає задача в його контролі (однорідність, розміри частинок). Оскільки шлікер являє собою суспензію з вмістом вологи близько 30 %, на виробництві найчастіше контролюють його густину [3]. Існує наприклад ємнісний датчик, що дозволяє вимірювати густину потоку суспензії у діапазоні об'ємної частки твердої речовини від 0 % до 29 % [3]. Недоліком такого методу є можливість досліджувати суспензії з невеликим вмістом твердих частинок та вимірювати лише інтегральне значення ємності суміші не вимірюючи розподіл частинок за розміром.

Також існують оптичні методи дослідження шліхту, наприклад [4] в публікації представлено спосіб дослідження крапель шламу за допомогою методу цифрової голографічної мікроскопії. Такий метод дозволяє вимірювати концентрацію та розподіл твердих частинок в суспензії розміром близько мікрона. Серед відомих фізичних методів дослідження суспензій нами було розглянуто можливість застосування явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для контролю суспензій на водній основі. Метод ППР дозволяє вимірювати наночастинки, є швидким та високоточним він є перспективним для досліджень в цьому напрямку.

Наявність твердих непрозорих часток в суспензіях ставить ряд обмежень для використання ППР-приладів у видимому діапазоні оптичного спектру. Тому, в роботі було поставлено задачу розробити метод дослідження суспензій в інфрачервоному діапазоні.

Для моделювання суспензій багатокомпонентного складу з непрозорими частинками та хімічними сполуками було проведено експерименти з зубною пастою. Була показана принципова можливість таких досліджень [6].

Для вивчення дії лише непрозорих твердих часток було використано суспензію на водній основі для полірування оптичних деталей. Цей порошок складається з фракцій від мікрометрів до нанометрів. Тому попередньо порцію поляриту розмішували у воді та чекали 10-20 хвилин для того, щоб найбільш великі та важкі частки осіли та залишились лише малі. Потім досліджували ППР методом, як суспензію з малими частками, так і суспензії з великими частками. Дослідження проводили на приладі «Плазмон-71» з характеристиками Табл. 1. на довжині хвилі 850 нм. На рис. 1 показано ППР-характеристики досліджених суспензій.

Таблиця 1. Технічні характеристики ППР-приладу «Плазмон-71»

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання показника заломлення	1.3 – 1.5
Роздільна здатність при вимірюванні показника заломлення	0.000005
Роздільна здатність по куту падіння	10 кутових сек.
Максимальний кут сканування	17 кутових град.
Час вимірювання повної ППР-кривої	≤ 10 сек.
Мінімальний час одного виміру:	
Вимірювання в режимі частини ППР-кривої	1 сек.
Вимірювання в режимі фіксованого кута	0.2 сек.
Кількість оптичних каналів	2
Додатковий канал електричних вимірів	±5V
Довжина хвилі	λ=850 нм

Наявність суспензії впливає на рефрактометричні характеристики, а саме зменшується динамічний діапазон $U_{\max}-U_{\min}$. Також значно зміщується кут мінімуму резонансу відносно референтної деіонізованої води, $0,19^\circ$ для щойно перемішаної суспензії (1:16 - $\text{CeO}_2:\text{H}_2\text{O}$) та $0,88^\circ$ для відібраної через 20 хв проби з верхніх легких фракцій, що й забезпечує зменшення середнього розміру твердих частинок в суспензії.

Результати досліджень показали, що ППР-метод чутливий до розміру часток в суспензії, а саме зміщення кута ППР при зменшенні розміру часток та зменшення розмаху резонансу.

Таким чином, можна зробити висновок про перспективність використання ППР-приладу для контролю суспензій в промислових умовах при виробництві

спеціальних нанокерамік шлікерним методом, коли шлікер містить непрозорі частки розміром від мікрометрів до нанометрів.

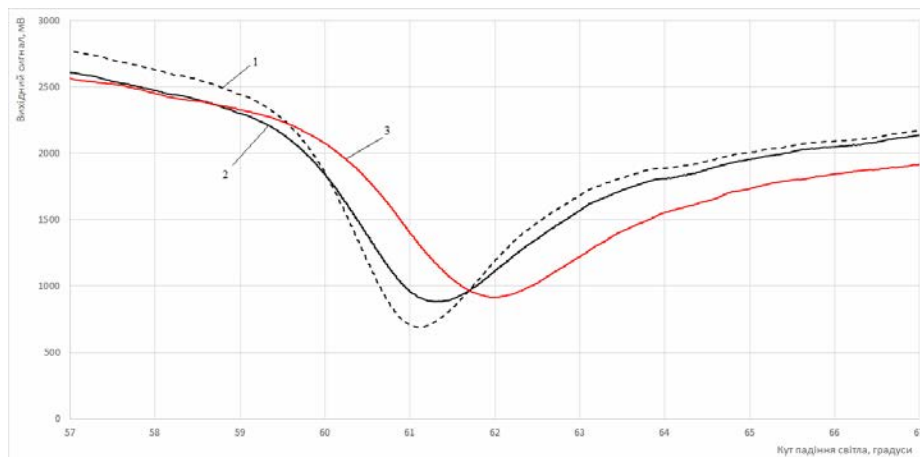


Рис. 1 Рефрактометричні характеристики ППР, де: 1 – крива ППР для деіонізованої води, 2 – крива ППР для суспензії з масовим співвідношенням 1:16 - $\text{CeO}_2:\text{H}_2\text{O}$, 3 – крива ППР для суспензії з таким ж масовим співвідношенням після відбору верхніх легших фракцій після 20 хв відстоювання.

При дослідженнях спостерігали негативний вплив суспензій на чутливий шар золота, що призводило до частой заміни чутливих елементів. Цю проблему потрібно вирішити в подальшій роботі.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, інфрачервоний діапазон, суспензія.

Література

- [1] Є. В. Гладух, О. А. Рубан, І. В. Сайко, В. І. Чуешов, О. О. Ляпунова, А. А. Січкара, Т. В. Крутських, О. С. Кухтенко, І. М. Грубник, Є. А. Безрукавий, "Промислова технологія лікарських засобів", базовий підручник для студентів вищого фармацевтично-навчального закладу (фармацевтичних факультетів) IV рівня акредитації, Х.: НФаУ, «Оригінал», 2016.
- [2] В. П. Маслов, С. В. Зінченко, Н. В. Качур та В. В. Вовк, "Шлікер термостійкого склокерамічного матеріалу", патент України на винахід № 125837 від 15.06.2022, бюл. № 24/2022.
- [3] W. Du, X. Ren, Z. Pei, C. Ma, "Ceramic Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review on Density", *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 142, no. 6, p. 060802, 2020. <https://doi.org/10.1115/1.4046248>
- [4] M. T. Scelzo, P. Eneren, Y. Sakamoto, L. Peveroni, "Design and validation of a capacitance-based sensor for slurry density measurement", *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 120, p. 110299, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110299>
- [5] X. Wu, Z. Xue, H. Zhao, L. Yao, L. Chen, C. Zheng, and X. Gao, "Measurement of slurry droplets by digital holographic microscopy: Fundamental research", *Fuel*, vol. 154, pp. 176-181, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.018>
6. Н. В. Соловійова, О. Є. Акімов, та В. О. Костенко, "Вплив суспензії нанодисперсного оксиду кремнію на продукцію оксиду азоту в сім'яниках щурів за умов хронічної нітратно-фторидної інтоксикації", *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії*, т. 20, вип. 1 (69), с. 130–134, 2020.

УДК 621.391

СПОСІБ КАЛІБРУВАННЯ І ПОВІРКИ ГАЗОАНАЛІЗАТОРА З ВІДКРИТОЮ КЮВЕТОЮ (ТРАСОВОГО)

Козубовський В. Р., Білак Ю. Ю.

Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

E-mail: kozubvr@gmail.com, yubill76@gmail.com

Прилади газового аналізу є приладами вимірювальної техніки. Тому їх треба періодично настраювати і повіряти. Настроювання включає встановлення нульових показів та діапазону вимірювань. Зазвичай для приладів з закритою (герметичною) робочою кюветою ця процедура відбувається за допомогою повірочних газових сумішей (ПГС). ПГС – це фактично робочі еталони, за якими здійснюється настроювання та повірка робочих засобів вимірювання – газоаналізаторів, і ця процедура є досить дорогою. Тому повірка здійснюється з досить великим інтервалом часу – скажімо 1 раз на рік. Однак перед відповідальними вимірюваннями бажано перевірити правильність настроювання засобів вимірювальної техніки [1].

В даній роботі розглянуті методи настроювання приладів газового аналізу з відкритою газовою кюветою. Відкрита газова кювета використовується досить широко при проведенні вимірів безпосередньо в газоходах теплових електростанцій, на промислових підприємствах. Газова суміш в газоході знаходиться в умовах, які відрізняються від нормальних (температура, тиск), тому при використанні пробозабору концентрацію суміші треба перераховувати до реальних умов. Крім того, в газоході при значних температурах і певних тисках існують гази, які потім при зміні цих параметрів доокислюється (наприклад, NO перетворюється на NO₂).

Тому відкрита кювета надає можливість отримати реальні значення концентрації газів. Для встановлення показів часто використовується метод створення короткої траси. У цьому випадку перед відкритою кюветою встановлюється відбивач і випромінювання повертається до газоаналізатора, не проходячи через відкриту кювету [2, 3]. Даному методу встановлення нуля притаманна велика похибка внаслідок нехтування адсорбцією на елементах оптики відкритої кювети різних компонент (наприклад, пилу), оскільки світловий промінь проходить за іншим маршрутом.

Джерелом додаткової похибки є зсув робочої точки на характеристиці «Напруга-Потужність» фотоприймача. Дана характеристика нелінійна, і це викликає потребу у зміні коефіцієнту підсилення в тракті системи реєстрації за умови «короткої траси». Верхня границя діапазону вимірів є в такому випадку невизначеною. Крім того, це не дає можливості встановити верхню границю діапазону вимірів. При калібруванні зростають витрати ПГС, оскільки система потребує продувки нульовою ПГС. Така операція є необхідною перед

встановленням нуля, а також після калібрування. Необхідна також ПГС і для встановлення верхнього значення діапазону виміру.

Для зменшення похибки калібрування та перевірки, зменшення витрат ПГС, нами пропонується під час калібрування змінювати довжину робочої кювети до нульового її значення і встановлювати нульові покази газоаналізатора.

При цьому під час калібрування після установки нульових показів, довжина калібрувальної кювети, має змінюватися від нульового до встановленого значення і встановлюватися верхнє значення діапазону вимірів. Кювета для калібрування виконана герметичною і наповнена ПГС (Рис. 1).

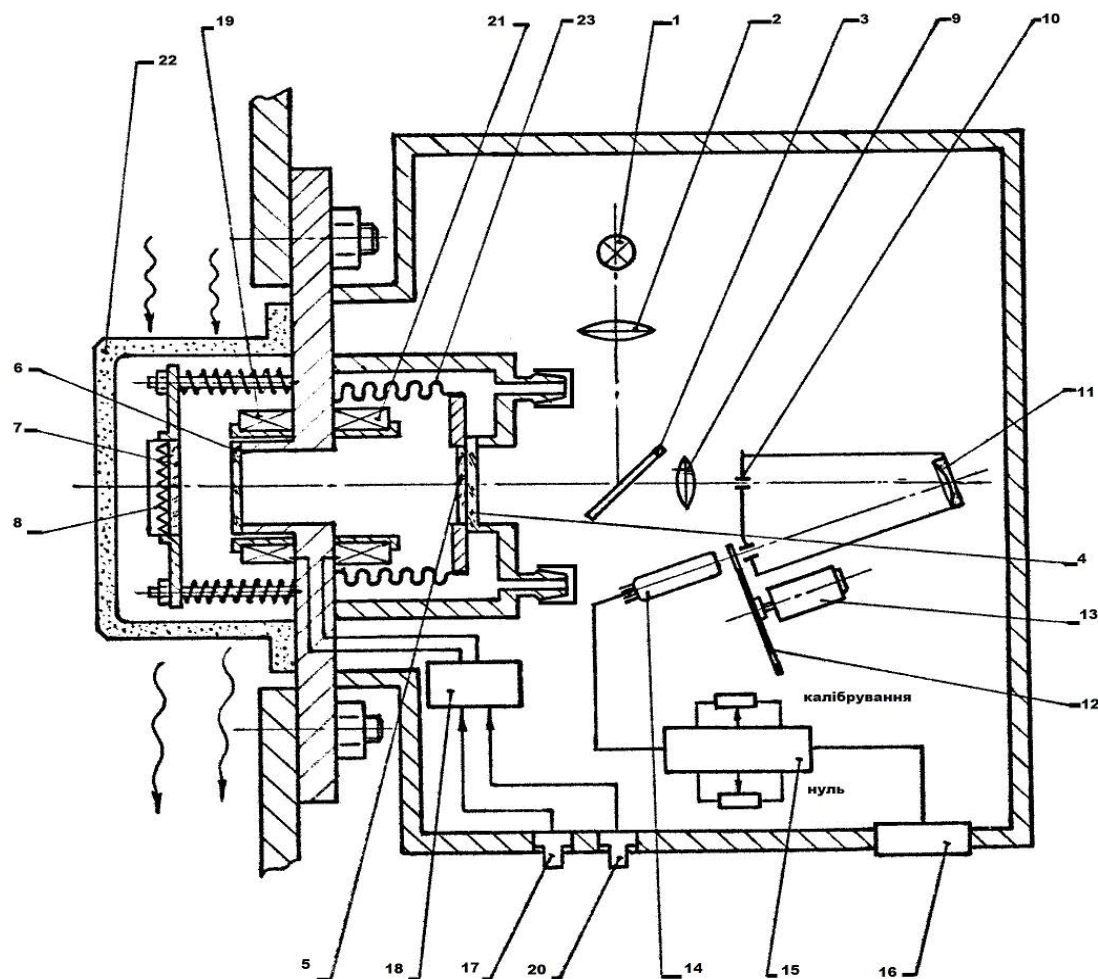


Рис. 1. Конструкція газоаналізатора з відкритою робочою і герметичною калібрувальною кюветами, які змінюють свої довжини в процесі калібрування і перевірки

Газоаналізатор складається із джерела випромінювання 1, коліматора 2, світлоподільного дзеркала 3, вікон 4, 5 калібрувальної кювети, наповненої ПГС, вікон 6, 7 робочої кювети, відбивача 8, об'єктива 9, входної щілини монохроматора 10, дифракційної ґратки 11, вихідної щілини 12, що сканується і встановленої на приводі 13, фотоелектронного помножувача (ФЕП) 14, системи реєстрації 15, індикатора 16, кнопки нуля 17, блока живлення 18,

електромагніта 19 робочої кювети, кнопки калібрування 20, електромагніта 21 калібрувальної кювети, ковпака еталокерамічного 22, сильфона 23.

Після джерела 1 світло формується у паралельний світловий потік за допомогою коліматорної лінзи 2. Далі світло відбивається від напівпрозорого дзеркала 3 і потрапляє до калібрувальної кювети, яку утворюють дзеркала 4 та 5. Калібрувальна кювета наповнена ПГС. Після цього світло надходить до наповненої ПГС робочої кювети із дзеркаками 6 і 7 та повертається назад у обидві кювети за допомогою відбивача 8 (катафоту). Далі тракт світлового сигналу утворюють: дзеркало 3, об'єктив 9, вхідна щілина монохроматора 10 та дифракційна ґратка 11. Розклад випромінювання, яке пройшло через обидві кювети, в спектр відбувається в фокальній площині приладу.

Сканування спектру здійснює механічна система на основі диску із рівномірно розташованими щілинами. Вихідна щілина 12 тут здійснює рівномірний обертальний рух за допомогою приводу 13.

Світловий потік, що проходить через вихідну щілину 12, виявляється промодульованим із частотою, що дорівнює добутку частоти обертання диска, числа щілин та кількості періодів структури ділянки спектру, що сканується. Сигнал від промодульованого світлового потоку реєструють за допомогою ФЕП 14. Реєстратор 15 та індикатор 16 здійснюють реєстрацію та відображення інформації про результати вимірів.

У режимі вимірів газоаналізатор установлений на фланці газоходу, а його робоча кювета перебуває усередині газоходу. Для запобігання забруднення вікон 6, 7 робочої кювети призначений ковпак 22, виготовлений із металокераміки.

Газова суміш, яку аналізують, потрапляє до кювети внаслідок дифузії через стінку ковпака 22. Довжина калібрувальної кювети в даному випадку дорівнює нулю (вікна 4, 5 притискає один до одного сильфон 23).

У режимі калібрування або перевірки натискають кнопку 17 і від блоку живлення 18 напруга йде до електромагніту 19, який притягає оправу вікна 7 та відбивач 8.

Довжина робочої кювети стає рівної нулю. Далі потенціометром "нуль" системи реєстрації встановлюють нульові покази індикатора 16. Для початку калібрування натискають кнопку 20 і до електромагніту 21 надходить напруга живлення, оправу вікна 5, яка розташована на сильфоні 23, буде втягнута. Калібрувальна кювета із ПГС приймає задану довжину.

Для запобігання зміни тиску в калібрувальній кюветі можливе встановлення мембрани. Відповідним потенціометром системи реєстрації 15 встановлюють паспортні покази концентрації ПГС на індикаторі 16. Калібрування на цьому закінчується.

При остаточній готовності газоаналізатора до вимірів відбувається така послідовність дій:

- вимикання кнопок 17 і 20;
- зняття напруги з електромагнітів 19 і 20;

- довжина калібрувальної кювети стає рівною нулю;
- довжина робочої кювети стає рівною встановленому значенню.

Газоаналізатор готовий до вимірів.

Розглянутий спосіб дозволяє здійснювати калібрування та перевірку газоаналізатора на робочому місці без застосування ПГС, що значно спрощує його експлуатацію. Спосіб дозволяє значно зменшити похибку калібрування й перевірки, оскільки при калібруванні світло проходить тим самим оптичним шляхом, що й у режимі вимірів. Водночас, залишається без змін величина світлового потоку, а також забрудненість оптичних елементів селективними та неселективними компонентами аналізованої суміші.

Наведений спосіб призначений для використання в газоаналізаторах із відкритою робочою кюветою. Об'єктами вимірювання є викиди теплових електростанцій та промислових підприємств.

Ключові слова: газоаналізатор, кювета, калібрування, перевірка

Література

- [1] Е. А. Перегуд, Д. О. Горелик, *Измерительные методы контроля загрязнения атмосферы*. Ленинград: Химия, 1981.
- [2] Патент ФРН №2559806 C3 G01N/21/17, выдан 18.11.1976 г.
- [3] Вимірювальний прилад змісту SO₂/NO і концентрації пилу "Технічний паспорт GM30". Фірма Sick, ФРН.
- [4] В. Р. Козубовський, “Спосіб калібрування и перевірки газоаналізатора”, *Патент на корисну модель №461127*. Опубл. 11.07.2011. Бюл.№13.
- [5] Перевірка и калібрування приладів. [Електронний ресурс] Доступно: <https://www.testo.kiev.ua/ru/proverka-priborov>

УДК 621.9

СВЕРДЛІННЯ КОМПОЗИТИВ, АРМОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИМ ВОЛОКНОМ

Пархоменко М. А., Міщук Д. О., Міщук Є. О.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна
E-mail: parkhomenko_ma@knuba.edu.ua, tdmid@ukr.net, mischuk.ieo@knuba.edu.ua

Композиційні матеріали порівняно з металами мають кращі співвідношення міцності до маси виробу. Складні форми конструкцій виробів і деталей з композиційних матеріалів можуть потребувати процесів механічної обробки, зокрема свердління отворів. Наприклад, застосування композиційних деталей з отворами, дозволяє використовувати більш дешеві гвинти та заклепки при складанні деталей порівняно з клейовими з'єднаннями.

Процеси свердління композиційних матеріалів армованих вуглецевими волокнами відрізняються від процесів свердління металевих сплавів. Неправильний вибір параметрів різання або різального інструменту може спричинити різні типи пошкоджень, такі як розшарування волоконної матриці, руйнування сусідніх волокон матриці, розколювання, термічні зміни та геометричні дефекти [1, 2]. Розшарування волокон, спричинене свердлінням, відбувається як на вході, так і на виході різального інструменту з оброблюваної

деталі, причому в обох випадках головним чинником, який впливає на руйнування матеріалу є сила тиску, що розвивається під час свердління [2]. Поєднуючи низькі швидкості подачі та високі швидкості обертання шпинделя свердла, можна створити набагато меншу силу тиску, а отже, зменшити розшарування [3].

З аналізу наукових робіт багатьох авторів [4-7] відомо, що різні конструкції свердла дають різний ступінь розшарування та якість отворів, наприклад, використання гвинтового свердла та свердла спеціальної геометрії при свердлінні композитних сіток, призводить до значного пошкодження на вході та виході з отвору, а при цьому свердління твердосплавним свердлом з однією гвинтовою канавкою призводить до меншого розшарування порівняно зі свердлінням із використанням твердосплавного свердла з чотирма канавками [5]. Також відомо, що використання прямозубих сверدل забезпечує більш високу швидкість виробництва без виникнення розшарування при роботі зі швидкістю подачі 2025 мм/хв і швидкістю обертання шпинделя 6750 об/хв [6]. Відомо, що застосування триперих свердел дозволяє зменшити явище розшарування, а тому їх раціонально використовувати для обробки полімерних матеріалів [7].

Всі розглянуті вище способи свердління композитних матеріалів засновані на застосуванні різального інструменту з прямим загостренням робочих різальних елементів, а така особливість конструкції різальних робочих органів призводить до зменшення площі контакту різального елемента з матеріалом. Дана особливість конструкції різального інструменту завжди створюватиме значний тиск в місці контакту, що призводитиме до розшарування композиційного матеріалу. Альтернативою може бути конструкція робочого інструменту кільцевого типу зі зворотним загостренням різальних частин (рис. 1).

Особливість запропонованого рішення полягає в тому, що різальні частини запропонованого свердлильного інструменту мають значно більшу площу контакту з оброблюваним матеріалом, ніж перові свердла, а це означає, що можна значно зменшити тиск на контактній поверхні, а, отже, і знизити явище розшарування матеріалу. Представлена конструкція може бути застосована для свердління отворів діаметром 12 мм на глибину до 10 мм. Кут внутрішнього загострення становить 30° , а кут бокового різання одним різцем – $65-70^\circ$.

Середню площу контакту різальних елементів з матеріалом можна приблизно визначити за формулою:

$$S = k_h h_c \frac{Rk_z}{n_z},$$

де k_h – коефіцієнт глибини різання; h_c – середня глибина різання; k_z – коефіцієнт зрізу; R – радіус розташування різального елемента; n_z – кількість різальних елементів.

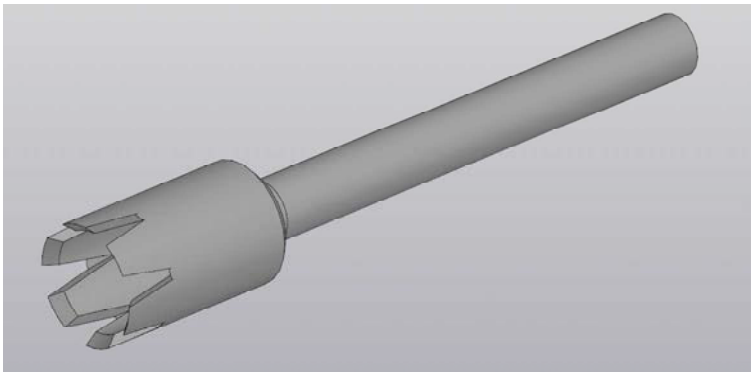


Рис. 1. Різальний робочий орган кільцевого типу для свердління композитів, армованих вуглецевим волокном: *а)* зовнішній вид; *б)* ескіз креслення з розмірами

Максимальну дотичну силу різання пропонується визначати на основі теорії динамічного руйнування робочих середовищ КНУБА [8]:

$$P_{\partial om} = \frac{Uk_d S}{2Vk_\alpha},$$

$k_d = \rho V^2 + \sigma \epsilon$ – питомий опір динамічному руйнуванню; σ – межа динамічної міцності матеріалу на стиск; ϵ – відносна динамічна деформація; V – швидкість взаємодії різальних елементів з матеріалом; k_α – коефіцієнт

загострення; $U = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}$ – швидкість розповсюдження поперечних хвиль деформації в матеріалі під час свердління.

Ключові слова: свердління композиту, свердло, динамічне руйнування.

Література

- [1] H. Hocheng, C. C. Tsao, "Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 46(12–13), pp. 1403–1416, 2006.
- [2] V. Krishnaraj, A. Prabukarthi, A. Ramanathan, N. Elanghovan, R. Zitoune, J. P. Davim, "Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) laminates", *Compos.*, vol. 43, pp. 1791–1799, 2012.
- [3] S. C. Lin, I. K. Chen, "Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed", *Wear*, vol. 194(1–2), pp. 156–162, 1996.

- [4] W. C. Chen, Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *Int. J. Mach. Tools Manuf*, vol.37(8), pp. 1097–1108, 1997.
- [5] J. P. Davim, P. Reis, “Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments”, *Compos. Struct*, vol. 59(4), pp. 481–487 2003.
- [6] T. J. Grilo, R. M. F. Paulo, C. R. M. Silva, J. P. Davim, “Experimental delamination analyses of CFRPs using different drill geometries”, *Comp. Part B: Eng*, vol. 45(1), pp. 1344–1350, 2013.
- [7] O. V. Globa, E. V. Oliynyk, K. A. Senkevich, “Study of the process of drilling aviation materials with three-point drills in order to improve the geometry of the cutting part”, *Processes of mechanical processing in mechanical engineering*, is. 7, pp. 48-53, 2009.
- [8] V. L. Baladinsky, Yu. D. Abrashkevich, *The theory of destruction of working environments: textbook*, Kyiv, KNUBA, 2000.

УДК 543.421/.424

МОНІТОРИНГ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА З ПЕРЕДАЧЕЮ ДАНИХ НА ВІДДАЛЕНИЙ КОМП'ЮТЕР

Петров М. В., Мельніченко Д. С., Меркулов А., Таранов В. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: lambit@ukr.net

Протягом останніх кількох років науково-технічний колектив "Ламбіт" працює над створенням багатоканальної системи моніторингу води. Впровадження системи моніторингу було вкрай важливо забезпечити автономною системою живлення, забезпечити дистанційне керування.

Моніторинг якості води в Україні має вирішальне значення для добробуту людей та навколишнього середовища (Рис. 1).



Рис. 1. Карта якості поверхневих вод України

Забруднення річок відбувається внаслідок викидів з промислових об'єктів та робіт на землях, серед яких нітрати є поширеною проблемою [1], і може

мати серйозні наслідки на генетичну складову, на онкологічні захворювання. Стан сучасного інформаційно-технологічного обладнання для моніторингу водного середовища з автономним модулем живлення – мета повідомлення. Трьох-канальна фотометрія в УФ-спектрі вже дозволяє виявити залишки нітратів, кількість яких не перевищує 3-5 мГ на літр у брудній воді. Вимірювач складається з джерела ультрафіолетового випромінювання, приймача, вимірювального блоку та комп'ютера з програмним забезпеченням, яке відображає результати вимірювань у вигляді графіка. Структурна схема представлена на рисунку 2.

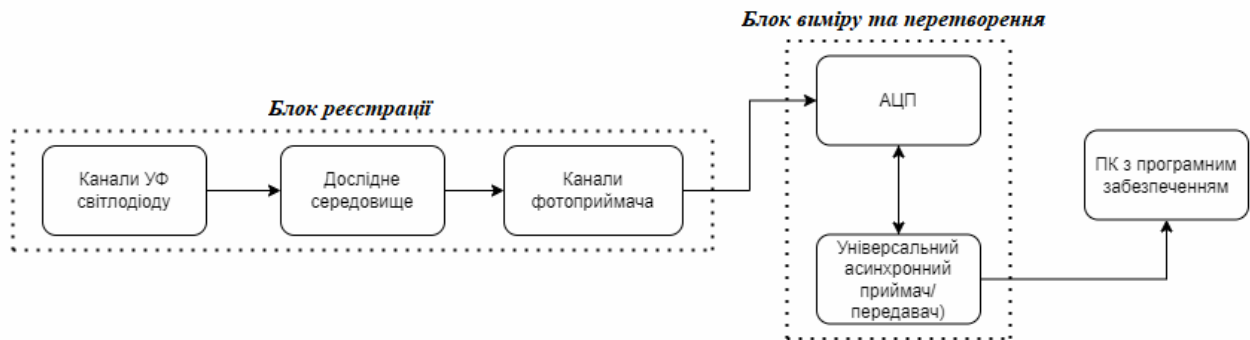


Рис. 2. Структурна схема багатоканального вимірювача

Модуль реєстрації включає джерело випромінювання зі стабілізованою потужністю і довжиною хвилі, а також приймач для реєстрації вимірюваного середовища [3]. Вимірювальний блок перетворює дані в цифрову форму і передає їх на ПК за допомогою асинхронного передавача. Результат вимірювання отримується за кілька хвилин і відображається на графіку з ключовими параметрами. Особливістю роботи датчиків стану водного середовища є саме передача даних на віддалене місце. Робота датчиків 24/7 вимагає безпоробійного енергопостачання для забезпечення вимірювання на місці (водоймище, річка) та передачі інформації на віддалений сервер.

Важливо було оцінити достатність заряду 12-вольтової батареї ємністю 9 А·год для нічної роботи, враховуючи середнє споживання струму 0,12 ампера. Враховуючи напругу і потужність обраної батареї, підійде панель з напругою приблизно 18 вольт і потужністю від 20 Вт. Розмір панелі також є важливим фактором, коли простір для встановлення обмежений. Схема стабілізації напруги (рис. 3) розроблена та виготовлена для зниження напруги від батареї до 9 В, що дозволяє надавати інформацію вже протягом місяця, проводити дистанційне керування інформаційно-технологічним модулем.

Мікроконтролер ESP8266 [4] використовується для бездротового зв'язку між системою моніторингу та сервером через Wi-Fi, забезпечуючи безперервну передачу даних.

Результатом роботи вже сьогодні є дистанційна робота та графік показань за добу (рисунок 4). Попередні результати роботи для кількісного аналізу нітратів наведені в роботі [5].

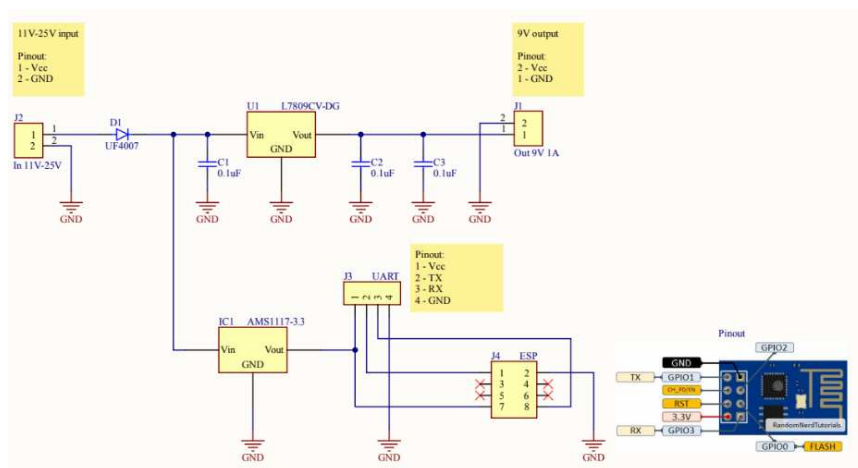


Рисунок 3. Система передачі інформації з використанням мікроконтролера ESP8266

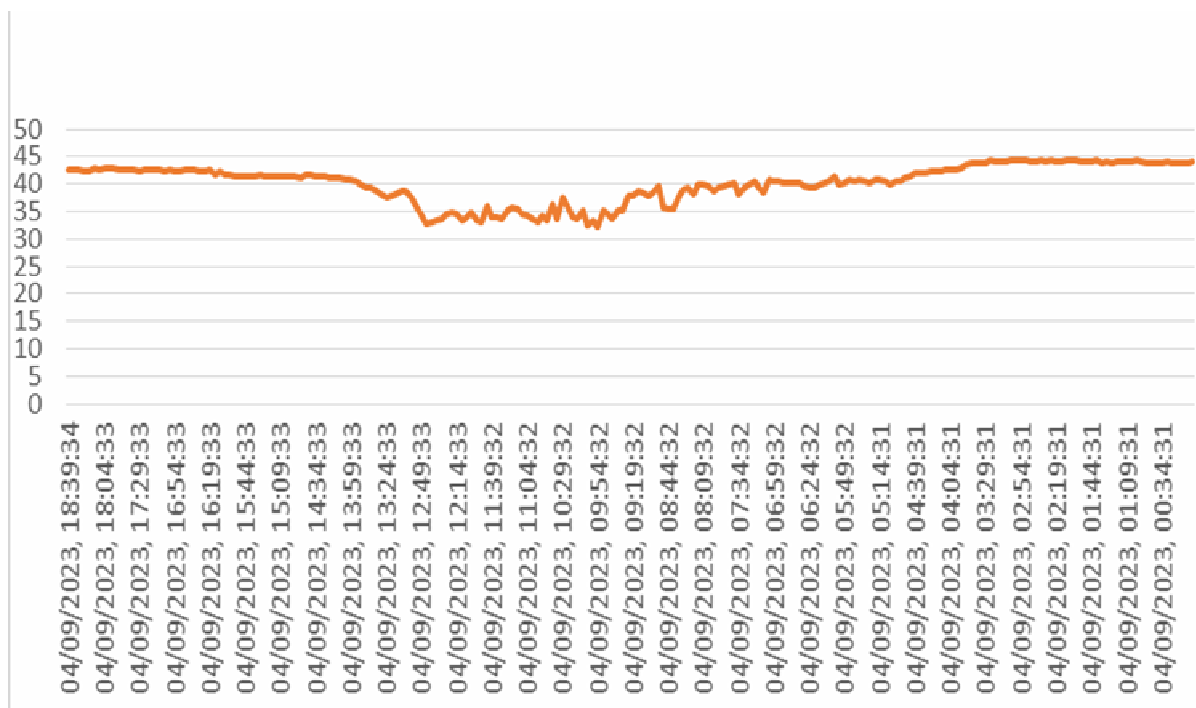


Рисунок 4. Зміни стану нітратів(мг/л) в межах однієї доби

Вже сьогодні можливо простежити історію забруднення в часі, тобто якість та кількість забруднюючих речовин в акваторії за певний період, що виникли у воді.

Література

- [1] В. В. Гончарук, *Наука о воде*. Київ, Україна: Наукова думка, 2010.
- [2] ДСТУ 4078-2001 (ISO 7890-3:1998, MOD). Якість води. Визначання нітрату. Ч. 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти, 1998. Введ. 01.01.2003.
- [3] В. В. Таранов, А. Ю. Курлянцєва, В.В. Гончарук, “Пристрій для фотометричного визначення нітратів у водних розчинах”, *пат. № 116728*: Україна. Опубл. бюл. № 11, 2017 р.

- [4] ESP8266 Datasheet (PDF) - ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) CO., LTD. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [5] С. О. Бойчун, Д. С. Мельніченко, В. В. Таранов, “Моніторинг відносного вмісту нітратів у водах Екологічні науки”, № 4(43), с. 32-39, 2022. DOI: 10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.6

УДК 621.325; 621.335

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ СИНХРОННОГО ІМПУЛЬСНОГО ІМІТАТОРА СОНЯЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Завгородній Р. С., Морозова І. В., Божко К. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: rostik.z393@gmail.com, izoom@ukr.net, bozhkonew@ukr.net

Нечітка модель розроблена на основі аналізу схеми імпульсного імітатора сонячного освітлення, призначеного для динамічного вимірювання електричних параметрів і характеристик сонячних панелей. Імпульсний імітатор має надавати світлові спалахи синхронізовано із початком вимірювання. Синхронізація має відбуватись за величиною енергетичної освітленості поверхні сонячної панелі під час світлового спалаху прожекторів імітатора.

Повторюваність умов експерименту забезпечує канал вимірювання освітленості та канали вимірювання часу, напруги і струму. Усі вимірювальні канали є незалежними один від одного, тому модель побудовано на припущенні про відсутність кореляції між похибками.

Динамічний метод отримання вольт-амперної характеристики (ВАХ) дозволяє за один вимірювальний імпульс в режимі лінійної розгортки струму отримати на екрані осцилографу вольт-амперну характеристику сонячної панелі. При цьому освітлення панелі відбувається за допомогою імітатора сонячного освітлення. Існує нагальна потреба у застосуванні імпульсного освітлення. Під час дії світлового імпульсу поверхня не встигає нагрітись і змінити свої електричні параметри. Таким чином, зберігається повторюваність умов експерименту з точки зору незмінності параметрів об'єкту вимірювання.

Для покращення повторюваності необхідно синхронізувати початок вимірювальної процедури та отримання ВАХ із певним значенням енергетичної освітленості поверхні сонячної панелі. Система синхронізації містить три основні вимірювальні канали: часу, напруги та освітленості. До цих трьох каналів додано ще канал компаратора, який забезпечує вчасне вмикання схеми динамічного вимірювання. Для компаратора вимірювальною величиною є різниця напруги між даною і опорною.

Для аналізу системи синхронізації необхідно оцінити сумарну похибку. Виконання такої задачі забезпечує нечітка модель.

Вихідна функція моделі має бальну шкалу, яка відповідає на границях точним значенням, що були отримані за відповідною формулою для розрахунку сумарної похибки [1]. В середині діапазону шкали дані нечіткої моделі відрізняються від значень, які отримали традиційним методом. Відмінність аналітичної і нечіткої оцінки сумарної похибки є предметом подальшого аналізу та дискусії.

Розробку нечіткої моделі здійснювали в середовищі MATLAB [2, 3]. На першому етапі були налаштовані функції належності (Membership Functions) для входів: Luxmeter, Voltmeter, Timer, Comparator. Усі входні функції належності мають однакові назви для усіх чотирьох входів: low, average, high. Тип функцій – Гауса (Рис. 1).

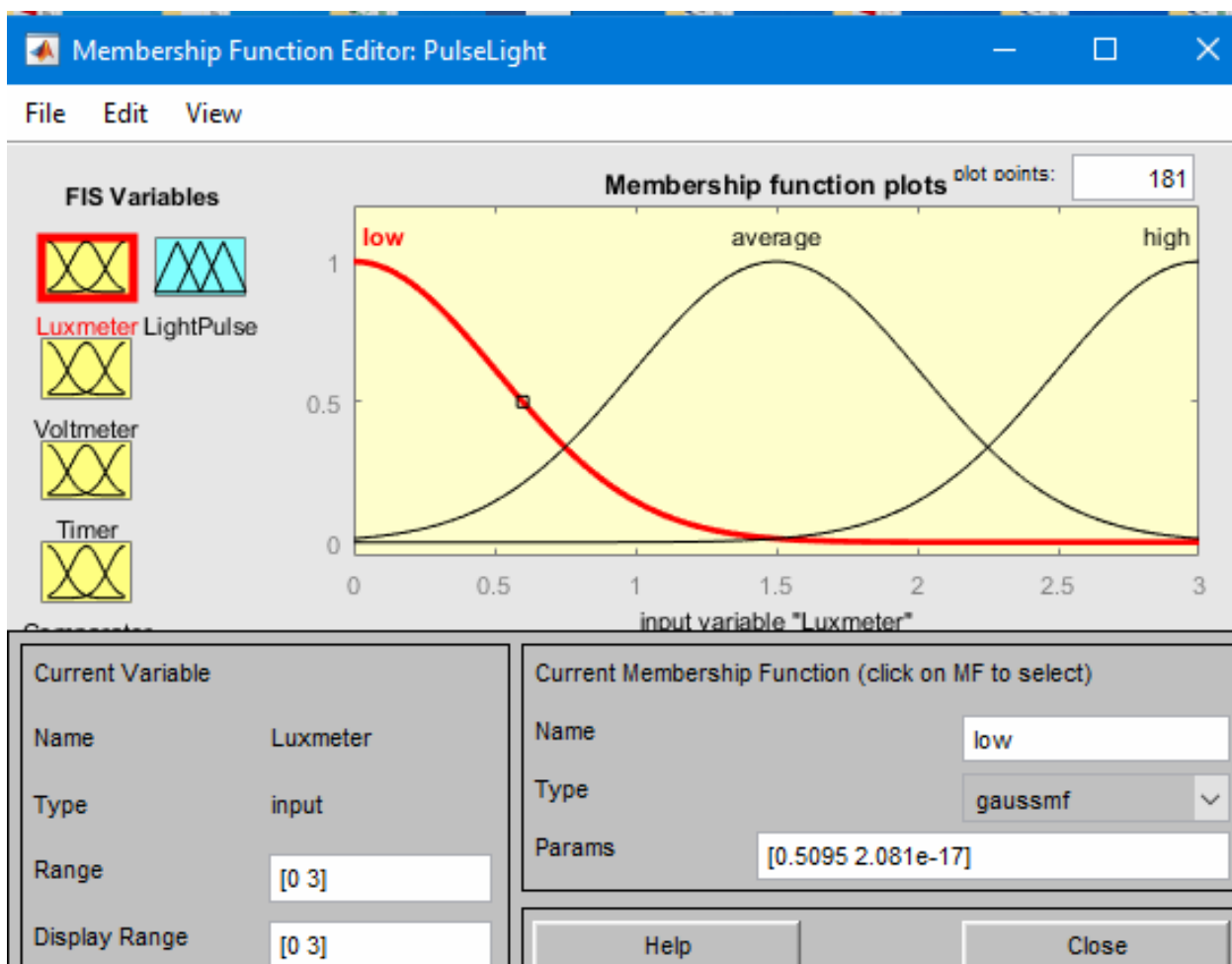


Рис. 1. Налаштування функцій належності для входу Luxmeter

Вихідна функція має назву Light_Pulse. Її функції належності мають трикутну форму. Назви вихідних функцій належності такі:

- Best;
- Typical;
- Bad.

Як бачимо, найкращим оцінкам відповідає нижня третина вихідної шкали, в середньому діапазоні знаходяться системи із типовими параметрами, а праворуч – найгірші зразки.

Робота моделі можлива в двох режимах: поверхні рішень і движків. Перший режим лише демонструє відсутність явних промахів в створенні правил нечіткого виведення. Другий режим є основним і дозволяє використати нечітку модель в якості експертної системи (Рис. 2).

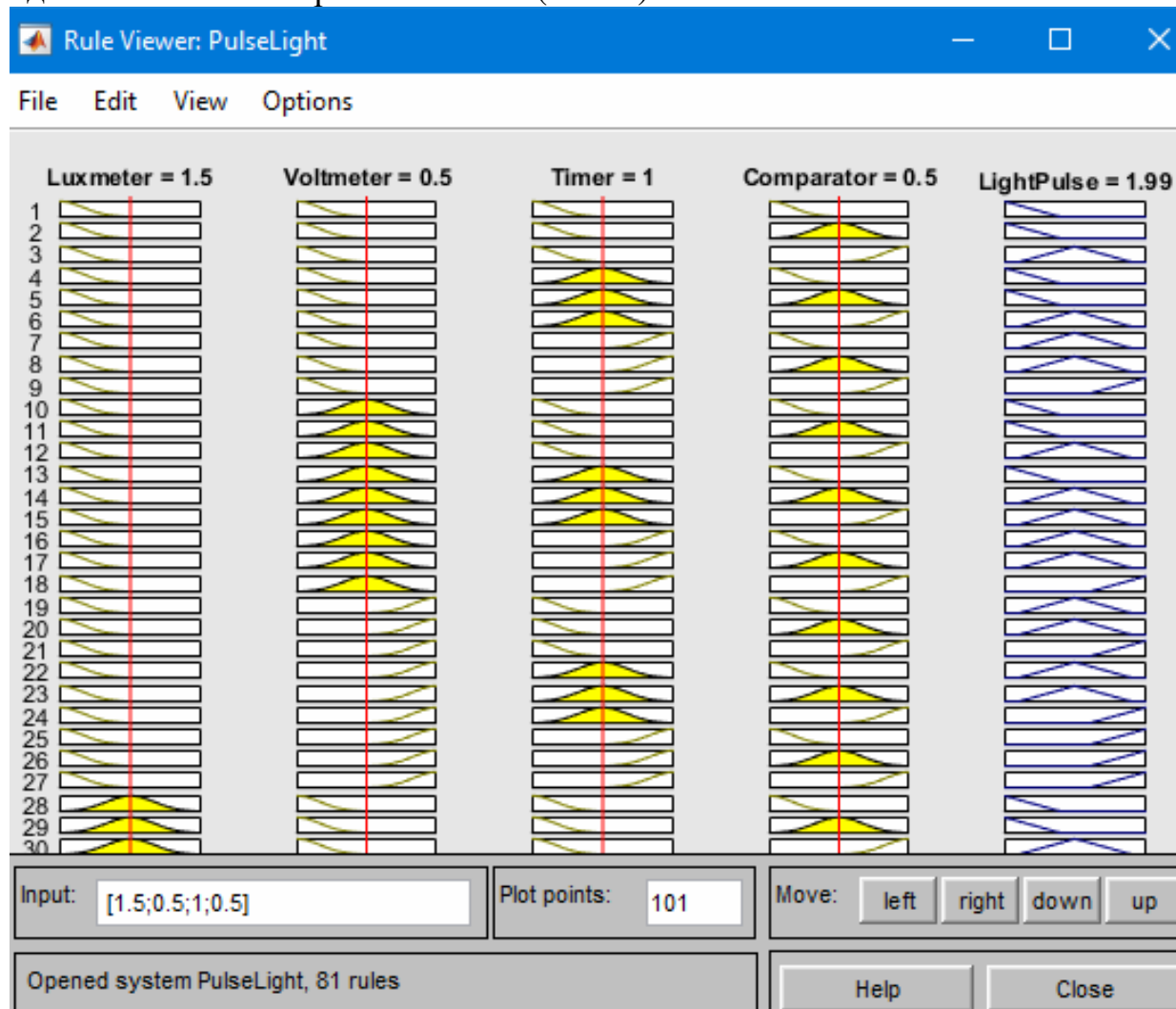


Рис. 2. Нечітке оцінювання сумарної похибки імпульсного імітатора сонячного освітлення

Сумарна відносна похибка, яка була обчислена за результатом нечіткого моделювання, при середніх значеннях похибок на входах дорівнює 1,99 % (Рис. 2). При обчисленні сумарної похибки відповідно до [1] для середніх значень на входах отримана величина 1,93 %. На границях діапазону значення похибки є узгодженими. Узгодження забезпечено «розтягуванням» діапазону вихідної функції.

Ключові слова: нечітка модель, сумарна похибка, імітатор сонячного освітлення, сонячна панель.

Література

- [1] П. П. Орнатский, *Теоретические основы информационно-измерительной техники*. Київ: Вища школа, 1983..
- [2] Н. Godfrey *Fuzzy Logic with MATLAB*. Great Space Independent Publishing Platform. North Charleston, SC, USA. 2016.
- [3] Fuzzy Logic Toolbox. Design and simulate fuzzy logic systems. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>

УДК 621.325

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СВІТЛОДІОДНОГО ТА ГАЛОГЕН-ВОЛЬФРАМОВОГО ІМІТАТОРІВ СОНЯЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мелкумов А. М., Руденко С. В., Мушкет К. Я., Божко К. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

*E-mail: melkumart@gmail.com, sergo00022@gmail.com, k.mushcat@gmail.com,
bozhkonew@ukr.net*

При динамічних вимірюваннях параметрів фотоелектричних сонячних панелей (ФЕСП) в якості імітатора сонячного освітлення зазвичай використовують масив освітлювачів на галоген-вольфрамових лампах розжарення [1]. Однак використання ламп розжарення призводить до нагрівання поверхні ФЕСП і зміни її параметрів на 5-15 % в процесі вимірювання.

Для уникнення нагрівання ФЕСП в процесі вимірювань були проведені досліді із світлодіодними матричними прожекторами електричною потужністю 50 Вт.

Досліджувана ФЕСП виготовлена із 36 елементів на аморфному кремнії, має номінальну напругу 12 вольт та номінальну потужність 12 Вт. Її номінальна напруга дорівнює 12 В, а номінальна потужність – 12Вт.

Під час виконання динамічних вимірювань на екрані цифрового осцилографу Tektronix 1002 безпосередньо була отримана вольт-амперна характеристика (ВАХ) ФЕСП в режимі лінійної розгортки струму. Напруга холостого ходу дорівнює 23,0 В.

Освітленість поверхні сонячної панелі (на відстані 200 мм від освітлювачів) склала 1800 ± 200 Люкс. Освітлювачі – це чотири матриці по сорок п'ять світлодіодів кожна і загальною потужністю 50 Вт. Прожектори LED мають лінійне розташування і забезпечують рівномірність світлового поля із похибкою $\pm 12\%$.

Розгортка ВАХ ФЕСП отримана в координатах «Струм-Напруга» і відображена на другому каналі осцилографу. Її тривалість дорівнює 15 мкс (Рис. 1). Одночасно перший канал відображає імпульс на затворі драйвера лінійної розгортки і вказує на початок процесу розгортки. Із збільшенням освітленості поверхні ФЕСП тривалість розгортки ВАХ зростає лінійно.

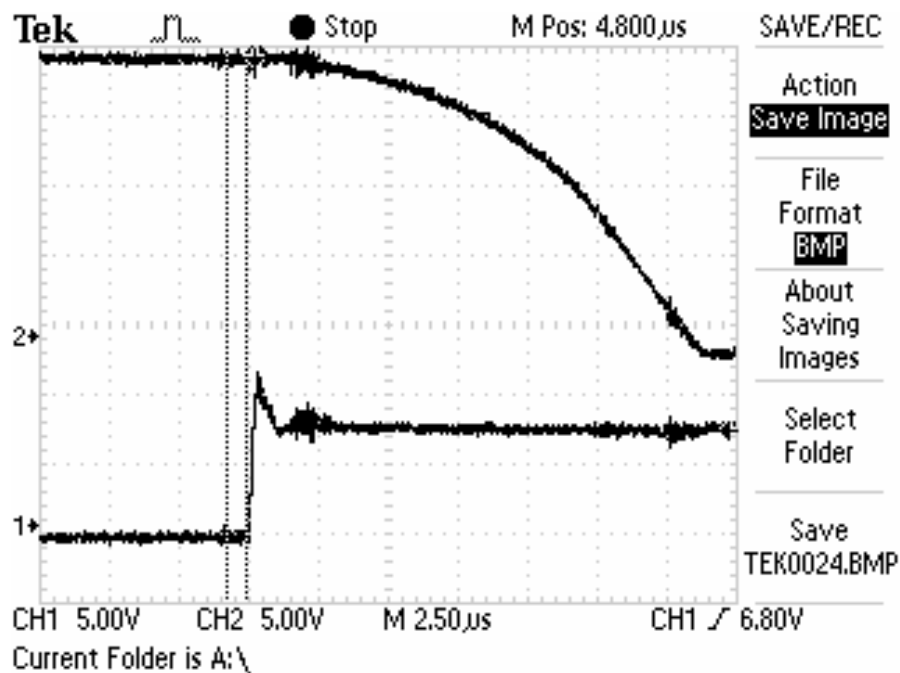


Рис. 1. ВАХ сонячної панелі при освітленні світлодіодними прожекторами

Порівняємо отриману ВАХ із подібною ВАХ для галоген-вольфрамових освітлювачів, які утворюють поле із освітленістю 24 500 Люкс в площині сонячної панелі (Рис. 2).

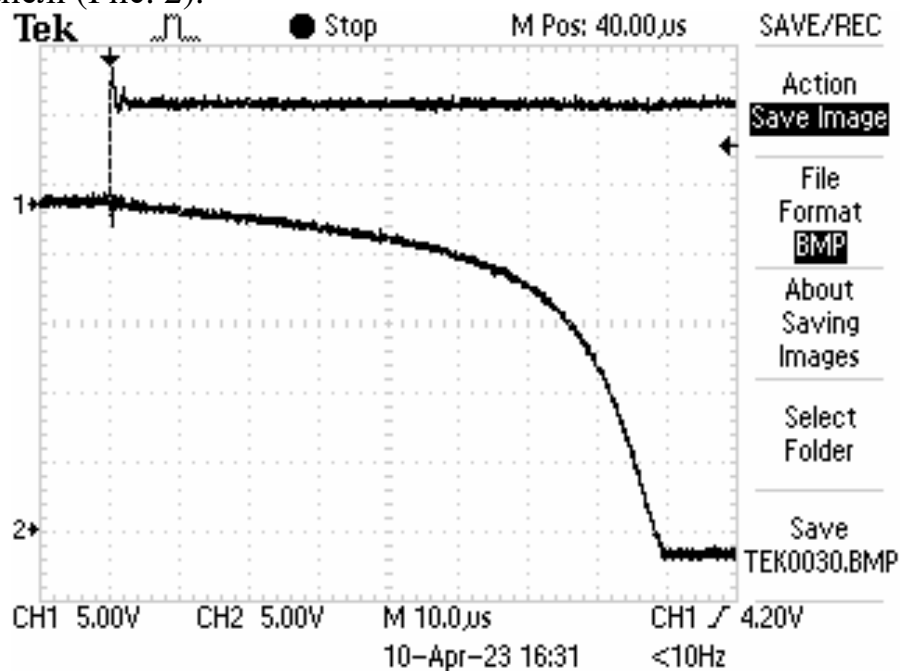


Рис. 2. ВАХ сонячної панелі при освітленні галоген-вольфрамовими прожекторами

Тривалість розгортки при освітленні галоген-вольфрамовими лампами склала 78 мкс, що вп'ятеро перевищила попередній варіант (для освітлення із матрицями LED). Потужність панелі склала приблизно 6 Вт при величині струму короткого замикання 0,38 А.

Відмінність спектрів випромінювання ламп розжарення і світлодіодів є суттєвою при освітленні сонячних панелей, оскільки значну частину спектру

поглинання фотоелектричного сонячного елемента складає ближня інфрачервона зона. Саме ближній інфрачервоний сегмент спектру відсутній у світлодіодах. Тому при використанні світлодіодних матриць в якості імітаторів сонячного освітлення необхідно вводити певні поправки.

Для демонстрації ефективності методу динамічного вимірювання наведемо ВАХ тієї самої панелі із аморфного кремнію при денному освітленні малої інтенсивності в 168-190 Люкс (Рис. 3).

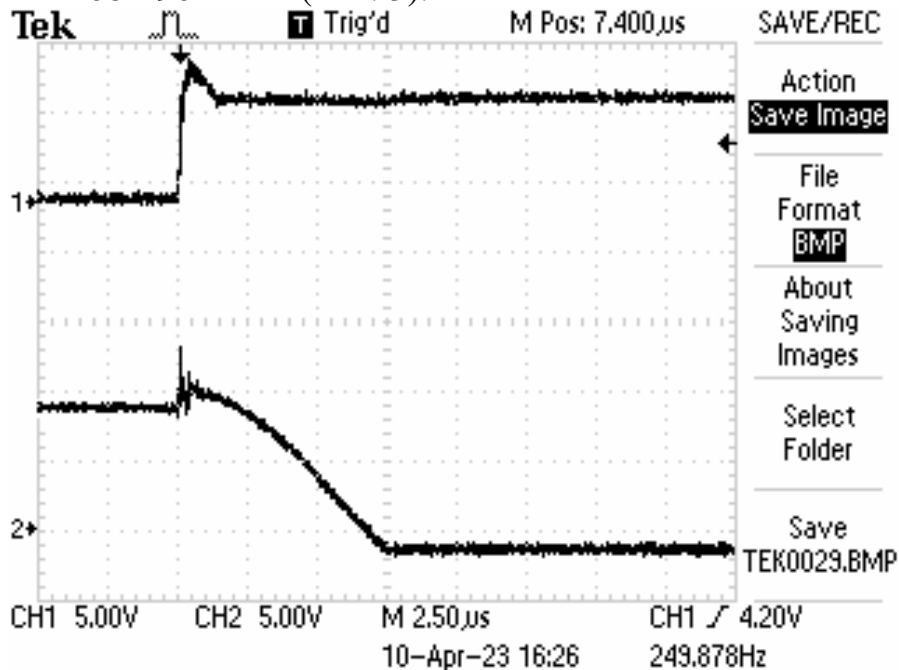


Рис. 3 ВАХ сонячної панелі в умовах малої освітленості (денне світло, 180 Люкс)

За умов малої освітленості тривалість розгортки склала 6 мкс. При цьому напруга холостого ходу дорівнює 9 В. Потужність сонячної панелі за таких умов не перевищує кількох міліват.

Ключові слова: імітатор сонячного освітлення, світлодіодна матриця, галоген-вольфрамова лампа розжарення, сонячна панель.

Література

- [1] K. Bozhko, N. Zashchepkina, I. Bozhko, “Linear current sweep and measuring the current-voltage characteristics of the solar panels”, in *Actual problems of modern science*. Bydgoszcz, Poland, pp. 747-756, 2021. DOI: 10.31891/monograph/2021-10-1 URL <https://pbs.edu.pl/pl/>