

## **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕЄСТРАЦІЇ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

професор, д.т.н. Стрількова Т.О., Пятайкина М.І.,  
студентка Дмитрук С.С., студентка Певцова М.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв  
e-mail: [tetiana.strilkova@nure.ua](mailto:tetiana.strilkova@nure.ua), [mariia.piataikina@nure.ua](mailto:mariia.piataikina@nure.ua),  
[sofiia.dmytruk@nure.ua](mailto:sofiia.dmytruk@nure.ua), [madina.pievtsova@nure.ua](mailto:madina.pievtsova@nure.ua)

**Abstract.** In this work, the development of an educational and research complex for studying the energetic, spatio-temporal, stochastic, and statistical properties of optical radiation is presented. The proposed information system for modeling the process of optical radiation registration includes modules for physical modeling, sensor registration, signal processing, and result visualization. The system is intended for scientific research, engineering development, and educational purposes, providing simulation, analysis, and optimization of processes related to the detection and processing of optical signals.

**Ключові слова:** фотодетектори, освітні цілі, інженерні розробки

**Актуальність роботи.** Сьогодні оптичні та оптико-електронні технології застосовуються практично у всіх областях людської діяльності, медицині, нано- та мікротехнологіях. Активний розвиток таких технологій обумовлює необхідність підготовки професійних наукових та науково-педагогічних кадрів, які спроможні вирішувати системні інноваційні задачі науки та промисловості в умовах технологічного прогресу.

На сучасному етапі розвитку вищої школи, в умовах постійного нарощування наукоємності та ступеню комп'ютеризації, від майбутніх фахівців вимагають не тільки якості професійних знань, а також розвиненого системного, спроможного до прогнозування та випереджаючого технологічний прогрес інтелектуального мислення.

Тому розробка новітніх інноваційних комплексів по дослідженню методів прийому та перетворення оптичних сигналів в мікро- та наноелектронних приладах дозволить підвищити якість підготовки дипломованих фахівців технічних спеціальностей, динамічно змінювати зміст технічної освіти, розробляти інноваційні методики викладання, а також підтримувати зворотний зв'язок зі студентами – споживачами освітніх послуг.

**Метою даної наукової роботи** є створення навчального комплексу для вивчення енергетичних, просторово-часових, стохастичних та статистичних властивостей оптичного випромінювання.

**Інформаційна система моделювання процесу реєстрації оптичного випромінювання** – це програмно-апаратний комплекс, призначений для імітації, аналізу та оптимізації процесів виявлення, збору, обробки та зберігання даних, отриманих в результаті реєстрації оптичного

випромінювання (наприклад, світла, лазерного сигналу, інфрачервоного випромінювання тощо). В основі розробки системи є теоретичні й експериментальні методи досліджень, а саме: при перетворенні сигналів в мікроелектронних системах та вивченні статистичних характеристик використано основні положення хвильової та корпускулярної теорії світла, теорії ймовірностей, статистичної теорії потоків, теорії побудови мікроелектронних систем.

Основними компонентами системи є модуль фізичного моделювання, який служить для імітації джерел оптичного випромінювання (спектр, інтенсивність, напрямок); врахування середовища поширення (атмосфера, перешкоди, розсіювання). Модуль сенсорної реєстрації необхідне для моделювання роботи фотодетекторів, CCD/CMOS матриць; визначення параметрів чутливості, шумів, динамічного діапазону. Модуль обробки сигналів виконує функції фільтрації, нормалізації, перетворення сигналу; визначення характеристик випромінювання (інтенсивність). Модуль візуалізації та аналізу використовується для побудови графіків, гістограмного та статистичного аналізу результатів моделювання.

Інформаційна система моделювання процесу реєстрації оптичного випромінювання в наукових дослідженнях використовується для вивчення характеристик оптичного випромінювання в різних умовах, в інженерних розробках для тестування оптичних сенсорів, камер, CCD/CMOS матриць; освітні цілі – навчання студентів принципам реєстрації та обробки оптичного сигналу.

Моделювання інформаційної системи реєстрації оптичного випромінювання. В умовах розвитку мікро- та наносистемної техніки виникає потреба в простих, доступних та функціонально завершених комплексах для вивчення процесів реєстрації, перетворення і аналізу оптичних сигналів. Саме для цього розроблено навчально-дослідницький Комплекс Реєстрації Оптичних Сигналів (КРОС). КРОС поєднує в собі компоненти джерела випромінювання, фотоприймача, аналогових та цифрових схем обробки сигналів, що дозволяє наочно досліджувати основні закономірності перетворення оптичної енергії в електричну. Комплекс орієнтований на інтеграцію з програмними засобами аналізу та моделювання, зокрема Mathcad та Python а також застосування хмарних технологій у дослідженнях мікро- та нанотехнологій [1-4], зокрема для моделювання взаємодії оптичного випромінювання з напівпровідниковими фотоструктурами [5-6], що забезпечують гнучкість, масштабованість і доступність ресурсів, дозволяючи обробляти великі обсяги даних, проводити симуляції, аналізувати експерименти та створювати віртуальні лабораторії без дорогого обладнання. Система забезпечує вимірювання інтенсивності та просторового розподілу випромінювання з високою роздільною здатністю.

Робота спрямована на побудову структурної та функціональної схем

комплексу, обґрунтування вибору компонентної бази, аналіз стохастичних характеристик сигналів і шумів, а також моделювання вихідного сигналу приймача при різних умовах випромінювання.

**Розробка структурної та функціональної схеми КРОС.** Створення навчального комплексу комплекс реєстрації оптичних сигналів (КРОС) складається з таких основних елементів: оптичне джерело; оптичне середовище (волокно або повітря); фотоприймачі – в залежності від фізичних явищ, які визначають принцип дії, приймачі оптичного випромінювання використовуються декілька груп; комп'ютерна система обробки (ПК з програмним забезпеченням).



Рисунок 1. Проект комплексу реєстрації оптичних сигналів. Формування сигналу → Поширення в середовищі → Перетворення фотонів у струм → Програмна обробка та аналіз сигналу → Візуалізація / Збереження

**Моделювання процесу реєстрації оптичного випромінювання.** Моделювання проводиться для оцінки впливу шумів (внутрішніх і зовнішніх) на вихідний сигнал системи. Для цього використовують чисельні вибірки значень сигналу при різних умовах освітлення, та розраховують відповідні стохастичні характеристики. Типовий підхід: перетворення енергії випромінювання у кількість фотонів; перетворення фотонів у електрони за допомогою коефіцієнта квантової ефективності; порівняння кількості сигналових електронів із кількістю електронів, спричинених шумом. Результати моделювання подаються у вигляді таблиць та графіків, що показують роздільність сигналу і шуму за різних відстаней та освітленості.

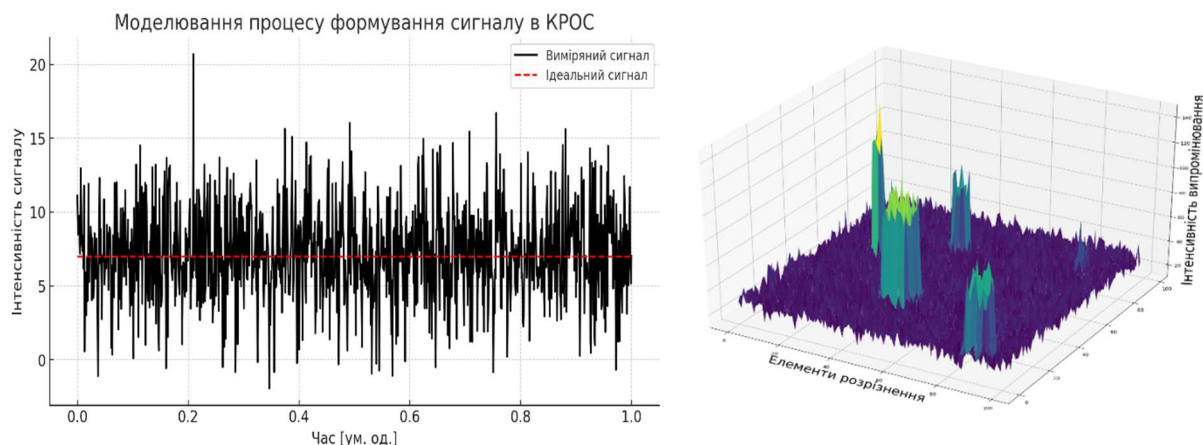


Рисунок 2. Моделювання процесу формування сигналу в КРОС

**Висновки.** В сучасних умовах розвитку вищої освіти створення навчальних комплексів, які дозволяють системно вивчати процеси формування, приймання та оброблення сигналів в електронних системах дає можливість формувати у студентів професійні знання та інтелектуальне мислення. Застосування сучасних комп'ютерних технологій дає можливість обробляти отриману інформацію. Розроблені методики приймання та оброблення сигналів сприяють укріпленню міждисциплінарних зв'язків (фізики, вищої математики, оптоелектроніки, матеріалознавства). В результаті використання розробленого комплексу реєстрації оптичних сигналів, вивчення та розрахунків їх статистичних характеристик дозволяє студентам формувати знання щодо планування та проведення експериментальних та теоретичних досліджень.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Шевченко М.С., Стрілкова Т.О. Формування та обробка інформації в дифузному середовищі на основі технології обробки великих даних (BIG DATA) // Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Харків, 16-18 травня 2025 року, ХНУРЕ, С. 64–65.

2. Бородин Я. В, Стрілкова Т.О. Застосування хмарних технологій в галузі мікро- та нанотехнологій // Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Харків, 16-18 травня 2025 року, ХНУРЕ, С. 71–73.

3. Патров Д.О., Стрілкова Т.О. Оцінка ефективності оптико-електронних систем формування та обробки сигналів та зображень // Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Харків, 16-18 травня 2025 року, ХНУРЕ, С. 27–29.

4. Стрілкова Т.О., Калмиков О.С., Бендеберя Г.М., Пятайкина М.І., Поліщук О.В. Стохастичні моделі вихідних сигналів в оптико-електронних системах // Колективна монографія «Сучасні технології в науці та освіті». 2021. Сєверодонецьк. С. 256-259.

5. Strelkova T.A., Lytyuga A.P., Kalmykov A.S. Statistical Characteristics of Optical Signals and Images in Machine Vision Systems Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0. 2021, Pages: 134-162. DOI: 10.4018/978-1-7998-6522-3.ch005. Монографія. Chapter 5 in book. IGI Global. USA.

T. Strelkova, A.I. Strelkov, V.M. Kartashov, A. P. Lytyuga, A S. Kalmykov. Methods of Reception and Signal Processing in Machine Vision Systems // Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0., 2021, Pages: 71-102. DOI: 10.4018/978-1-7998-6522-3.ch003. Монографія. Chapter 3 in book. IGI Global. USA.