

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ



МАТЕРІАЛИ
VII ФОРУМУ
**«Автоматизація, електроніка та
робототехніка. Стратегії розвитку та
інноваційні технології»**
AERT-2025

11 - 12 грудня 2025 р.

Харків 2025



Збірник матеріалів VII форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2025. – Харків, ХНУРЕ, 2025. – 105 стр.

В збірник включені матеріали VII форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2025.



VII форум «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2025 проведено кафедрами:



- мікропроцесорних технологій і систем (МТС),



- комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР).

Видання підготоване
кафедрою мікропроцесорних технологій і систем (МТС)
Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ)

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14

Тел. +38 (057) 755 0220

Е-mail:

oleh.zubkov@nure.ua

© Харківський
національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2025

РОЗШИРЕНЕ ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ТРИВАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

студент Шутєєв Н. В., доцент, к.ф.м.н. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв,

e-mail: nazar.shutieiev@nure.ua, oleksandr.galat@nure.ua

Abstract. The global transition toward sustainable energy sources places photovoltaic (PV) technology at the forefront of the world's future power infrastructure. While the solar industry has matured significantly, a critical challenge remains: the often-observed gap between the predicted energy performance of a solar panel and its actual output over its 25–30 year lifespan. This performance discrepancy is driven by the complex interplay of material degradation, environmental stressors (such as temperature and varying light irradiance), and the inherent limitations of conventional models.

The primary aim of this work is to address this reliability gap by developing a sophisticated physical and numerical model of solar cell. This model is designed to accurately predict energy yield, simulate internal degradation mechanisms, and integrate strategies for enhancing panel sensitivity and signal stability under real-world operating conditions.

Ключові слова: фотоперетворювач, ефективність, моделювання

Вступ. Основна функція сонячної панелі базується на фотоелектричному ефекті, коли фотони перетворюються на електричний струм у напівпровідникових матеріалах. Продуктивність цього перетворення не є ідеально лінійною. Огляд існуючої літератури показує, що традиційні моделі продуктивності часто не відповідають очікуванням, оскільки вони розглядають комірку як ідеалізовану систему. Насправді такі фактори, як дефекти в напівпровідникових переходах, домішки в структурі матеріалу та різні джерела внутрішнього електронного шуму, призводять до значних втрат [1,2].

Критична проблема полягає в тому, що ці фактори, зокрема деградація та шум, безпосередньо впливають на загальну чутливість панелі – її здатність ефективно перетворювати світло на стабільний електричний сигнал, особливо в умовах низької освітленості або після років експлуатації. Обмеження звичайних панелей виникають через фундаментальні компроміси між вартістю матеріалу, довговічністю та ефективністю перетворення. Щоб подолати ці обмеження, необхідно визначити та впровадити стратегії, які активно зменшують внутрішній шум та стабілізують електронну реакцію.

Основна частина. За основу у процесі розрахунку використовуємо фізичну модель фотоперетворювача, яка реалізована у вигляді еквівалентної схеми (Рис. 1). Її основною перевагою є простота, що робить

її придатною для швидкої оцінки продуктивності та інтеграції у програмне забезпечення для моделювання більших систем.

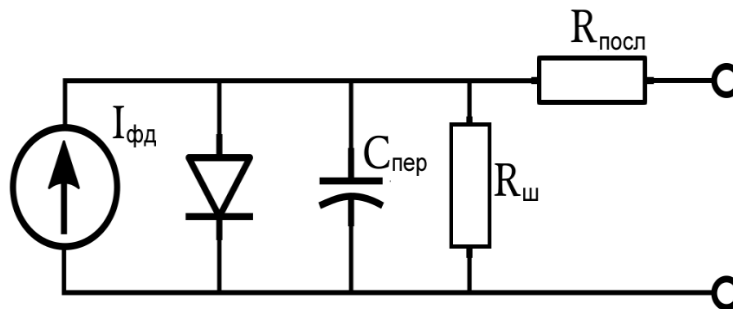


Рисунок 1 – Еквівалентна схема фотоперетворювача

Методологія цього проекту передбачала двосторонній підхід: поглиблений аналітичний огляд матеріалознавства та проектування електронних підсистем, а також розробку комплексної фізичної моделі. Модель була побудована для моделювання складних фізичних процесів усередині фотоелектричного елемента, від поглинання фотона до збору результуючих носіїв заряду. Ключовим аспектом розробки було точне представлення шумових факторів, які можуть суттєво обмежити чутливість детектора. Ці джерела шуму включають тепловий шум та квантовий шум.

Конкретні стратегії підвищення чутливості були інтегровані безпосередньо в модель, зосереджуючись на двох основних областях. Першою областю була оптимізація матеріалів та геометрії, яка включала оцінку того, як зміни товщини напівпровідникового шару, типу переходу та властивостей матеріалу впливають на ефективність збору носіїв та внутрішні втрати. Методики розрахунків поглинальної здатності матеріалів та структур, що використовують у складі фотоперетворювача, представлені у [3,4, 5]. Другою областю були методи зменшення шуму, а саме, використовувались імітаційні методи, спрямовані на мінімізацію впливу електронного та квантового шуму.

Обчислювальна фаза включала виконання різних сценаріїв з використанням розробленої моделі. Моделювання надало детальне уявлення про реакцію фотоприймальної комірки за різних умов опромінення, температури та якості матеріалу. Діаграма розсіювання, що зображена на рисунку 2, демонструє поступове відхилення фактичних результатів продуктивності фотоелектричних панелей від теоретичних (прогнозованих) та свідчить також про наявність систематичних чинників, а не лише випадкових явищ, що впливають на експлуатаційні характеристики досліджуваних приладів.

Ключові результати продемонстрували кількісний зв'язок між конкретними матеріалами та геометричними параметрами

фотоперетворювачів, а також загальною експлуатаційною чутливістю. Наприклад, моделювання показало, що оптимізація якості напівпровідникових переходів [6,7] має непропорційно позитивний вплив на мінімізацію втрат струму та зменшення шкідливого впливу шуму. Це свідчить про те, що у виробництві слід зосередитися на контролі цих нанорозмірних характеристик.

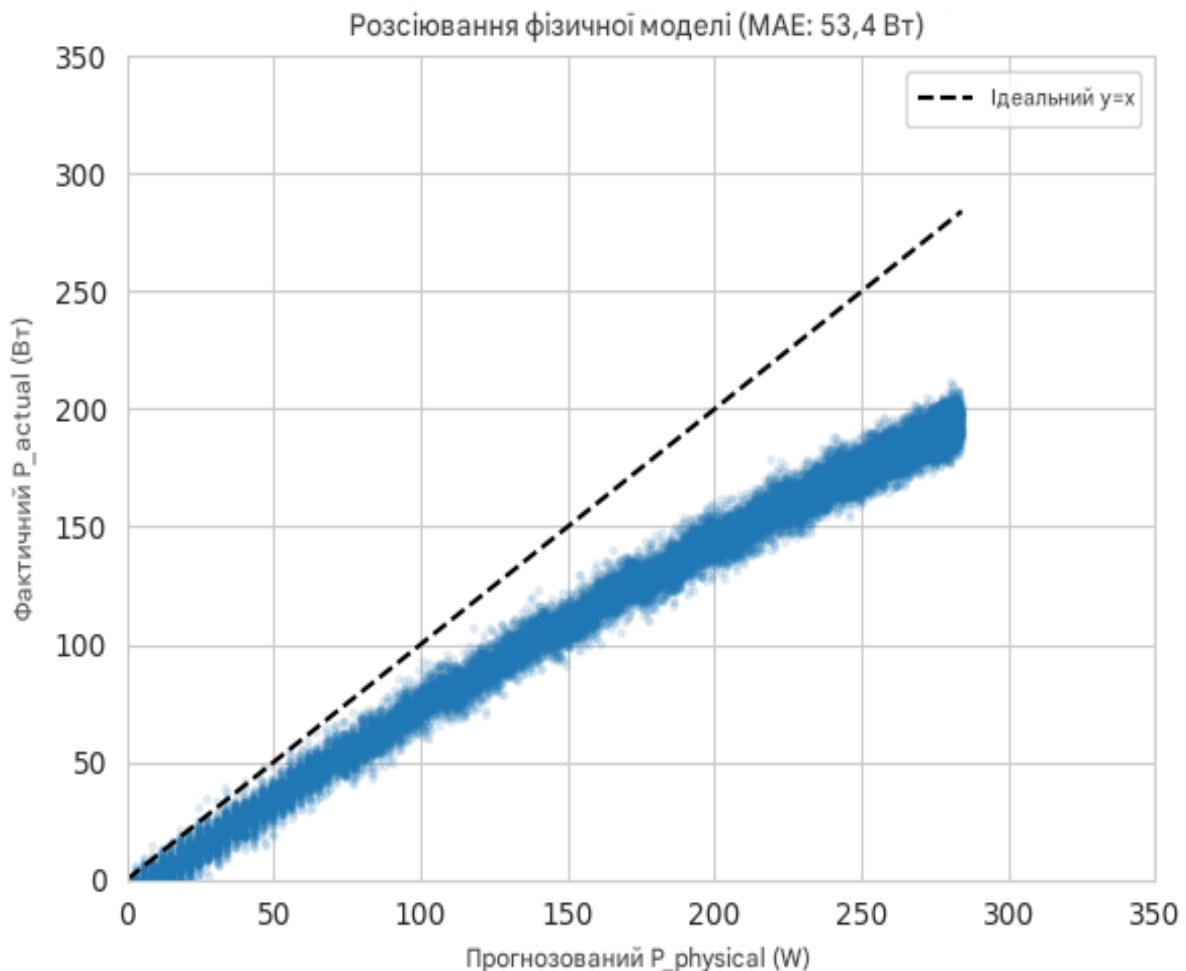


Рисунок 2 – Порівняння фактичних та прогнозованих прогнозованої кривої деградації потужності (розроблена модель) з фактичними довгостроковими польовими даними

Висновки. Аналіз змодельованих кривих реакції показав, як різні стратегії зниження шуму впливають на довгострокову стабільність роботи. Зокрема, модель надала прогнозні криві, які ілюструють компроміс між максимізацією початкової вихідної потужності та мінімізацією швидкості деградації з часом. Результати дають змогу зрозуміти, що панель, розроблена з інтегрованими механізмами зниження шуму, навіть якщо жертвує невеликою часткою пікової початкової ефективності, підтримує

значно вищий рівень продуктивності після двох десятиліть служби.

Підсумовуючи, слід сказати, що успішно розроблено вдосконалену фізичну модель, яка включає критичні фактори матеріалу, геометрії та шуму. Отримані симуляції підтвердили, що стратегічна оптимізація матеріалів та інтегровані методи зниження шуму можуть значно підвищити експлуатаційну чутливість та довгострокову надійність фотоелектричних панелей.

Список використаних джерел.

1. Чертова Д. О. Деградація сонячних панелей / Д. О. Чертова, М. К. Соколов ; наук. керівник М. Є. Алфьоров // 22-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» : зб. матеріалів форуму. Т. 3. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – С. 152–153..

2. Васюхно К. В. Фізичний принцип роботи сонячних панелей / К. В. Васюхно ; наук. кер. В. М. Ігнатенко // Перший крок у науку : матеріали VIII студент. конф., м. Суми, 11 груд. 2016 р. / відп. за вип. М. Б. Оприско. – Суми : СумДУ, 2016. – С. 238–239.

3. Галат О. Б. Розрахунок поглинальної здатності сонячного фотоперетворювача на основі $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$. Радіотехніка : Всеукр. міжвідом. наук.-техн. зб. 2017. Вип. 190. С. 44–49.

4. Натарова Ю. В. Поглинальна здатність найбільш перспективних матеріалів сонячних фотоперетворювачів / Ю. В. Натарова, А. Б. Галат // Радіоелектроніка та молодь у XXII столітті : зб. тез. доп. XXI Харків. конф. молодих науковців, 17–19 квіт. 2018 р. – Харків, 2018. – С. 45.

5. A. Sliusarenko, L. Sviderska, A. Galat Calculation Of The Absorption Capacity Of Multi-Junction Solar Photoconverters // XII International Scientific Conference “Functional Basis of Nanoelectronics” September, 2021, Kharkiv-Odesa, Ukraine. Collection of scientific works. – P.98-100.

6. S. Babychenko, O. Babychenko , O. Galat Microwave Photomodulation Method for Noninvasive Analysis of Doping Profiles in Inhomogeneous Semiconductor Structures// JOURNAL OF NANO- AND ELECTRONIC PHYSICS Vol. 17 No 4, 04006(6pp) (2025) DOI: 10.21272/jnep.17(4).04006

7. Galat A. B. Simulation of an Optimal Design for (P)-a-Si:H/(N)-c-Si Photovoltaic Converters Using the Analytical Model // Telecommunications and Radio Engineering, vol. 74, 2015, N13, PP. 1215-1223.