

**163 БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

УДК 004.8:616-006.6

DOI: 10.31498/2225-6733.53.2.2026.359935

**ДВОЕТАПНА СИСТЕМА ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ УРАЖЕНЬ ШКІРИ**

- Нечипоренко Н.І.** студентка, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: [nataliakhotsenko@gmail.com](mailto:nataliakhotsenko@gmail.com);
- Хоменко О.С.** канд. техн. наук, доцент, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3753-3033>, e-mail: [o.s.khomenko@ust.edu.ua](mailto:o.s.khomenko@ust.edu.ua);
- Лосіхін Д.А.** ст. викладач, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-7263>, e-mail: [elenahtks@ukr.net](mailto:elenahtks@ukr.net)

Рак шкіри є одним із найпоширеніших онкологічних захворювань, а раннє виявлення суттєво підвищує ефективність лікування. У зв'язку з цим актуальним є застосування методів штучного інтелекту для автоматизованого аналізу дерматоскопічних зображень. У роботі запропоновано двоетапну систему глибокого навчання: на першому етапі визначається наявність ділянки шкіри на зображенні за допомогою MobileNetV3-Small, на другому – класифікуються ураження за сімома діагностичними категоріями із використанням EfficientNet-B4. Для підвищення точності та узагальнювальної здатності моделей застосовано попередню обробку зображень, доповнення даних та балансування класів. Інтерпретованість результатів забезпечується методом Grad-CAM, що дозволяє візуалізувати ділянки, які найбільше впливають на прогноз. Результати експериментів на наборі дерматоскопічних зображень HAM10000 демонструють високу точність класифікації (до 94 %) та стабільність роботи системи на реальних даних. Запропонований підхід може бути використаний як інструмент підтримки попереднього скринінгу уражень шкіри та раннього виявлення онкологічних захворювань.

**Ключові слова:** штучний інтелект; глибоке навчання; класифікація уражень шкіри; дерматоскопічні зображення; згорткові нейронні мережі; раннє виявлення раку шкіри; пояснюваний штучний інтелект; HAM10000 dataset.

**Постановка проблеми**

Рак шкіри – одне із найпоширеніших онкологічних захворювань у світі, а своєчасне виявлення патологічних змін підвищує ефективність лікування та знижує смертність. У сучасній практиці важливу роль відіграє дерматоскопічний аналіз зображень уражень шкіри, що дозволяє виявляти потенційно небезпечні новоутворення на ранніх стадіях [1]. Проте такий аналіз потребує високої кваліфікації спеціалістів і значного часу, що обмежує масовий скринінг. Тому актуальним є застосування методів штучного інтелекту та глибокого навчання для автоматизації аналізу медичних зображень [2].

Автоматична класифікація уражень шкіри залишається складною проблемою через варіативність умов отримання зображень, зокрема освітлення, якість фото, тон шкіри, форму та розмір уражень [3]. Додатково існує дисбаланс класів у медичних наборах даних, а зображення можуть містити фонові області або сторонні об'єкти, що здатне спричинити помилкові прогнози [4].

Предметом дослідження вчених є методи та моделі глибокого навчання для автоматизованого аналізу дерматоскопічних зображень і класифікації уражень шкіри. Особливу увагу приділяється підвищенню

надійності моделей у реальних умовах, стійкості до шумних даних та інтерпретованості результатів [5].

Виникає необхідність розроблення інтелектуальної системи, здатної автоматично виділяти релевантні ділянки шкіри, класифікувати ураження за діагностичними категоріями та надавати пояснення прогнозів. Це передбачає створення надійної моделі глибокого навчання, використання сучасних архітектур згорткових нейронних мереж, методів обробки та доповнення даних, а також зручного інтерфейсу для інтерактивної взаємодії користувача з системою.

Таким чином, дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-прикладної проблеми підвищення ефективності автоматизованого аналізу уражень шкіри на основі методів штучного інтелекту, що має значення для розвитку медичних інформаційних систем та підтримки раннього скринінгу онкологічних захворювань.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Останніми роками методи штучного інтелекту та глибокого навчання активно застосовуються для аналізу медичних зображень, зокрема для автоматизованої діагностики уражень шкіри [1], [6]. Значна кількість досліджень присвячена використанню згорткових нейронних мереж для класифікації

дерматоскопічних зображень, що дозволяє автоматично виявляти характерні візуальні ознаки різних типів шкірних новоутворень [7].

У низці робіт було продемонстровано високу ефективність глибоких нейронних мереж у задачах класифікації уражень шкіри. Зокрема, дослідження показують, що сучасні архітектури згорткових нейронних мереж, такі як ResNet, DenseNet, EfficientNet та MobileNet, здатні досягати високої точності під час аналізу дерматоскопічних зображень [8-10]. Попередні дослідження повідомляють про точність класифікації в діапазоні від 80 до 92% на наборі даних HAM10000 з використанням архітектур на основі CNN. Використання великих відкритих наборів даних, зокрема HAM10000 та ISIC, сприяло розвитку алгоритмів автоматичної діагностики та дозволило порівнювати ефективність різних підходів [11].

Разом із тим у науковій літературі відзначаються певні обмеження існуючих методів. Однією з основних проблем є дисбаланс класів у медичних наборах даних, що може призводити до упередженості моделей у бік найбільш представлених категорій [4, 12]. Іншою проблемою є значна варіативність якості зображень, різні умови освітлення, відмінності у тоні шкіри та наявність сторонніх об'єктів на фотографіях [13, 14]. Деякі дослідження повідомляють, що точність моделей сильно знижується для рідкісних класів і уражень, що мають подібні візуальні характеристики. Це може суттєво знижувати точність автоматизованих систем.

Крім того, значна частина існуючих досліджень зосереджується лише на задачі класифікації уражень, не враховуючи попередній етап визначення релевантної ділянки шкіри на зображенні. Це може призводити до помилкових прогнозів у випадках, коли система аналізує фонові області або об'єкти, що не належать до шкіри [15]. Також актуальною залишається проблема інтерпретованості моделей глибокого навчання, оскільки для медичних застосувань важливо розуміти причини прийняття певних рішень алгоритмом.

У зв'язку з цим сучасні дослідження все частіше приділяють увагу використанню методів пояснюваного штучного інтелекту, таких як Grad-CAM, які дозволяють візуалізувати області зображення, що найбільше впливають на прогноз моделі [16, 17]. Порівняльний аналіз сучасних методів показує, що деякі архітектури CNN досягають високої точності, проте в реальних умовах з шумними або нерелевантними зображеннями продуктивність може падати на 5–10%. Однак питання поєднання високої точності класифікації, стійкості до шумних вхідних даних та прозорості прийняття рішень залишається актуальним.

Таким чином, аналіз наукових публікацій свідчить про значний прогрес у використанні методів глибокого навчання для аналізу дерматоскопічних зображень, однак низка важливих аспектів, зокрема підвищення надійності моделей у реальних умовах, ефективна робота з нерелевантними зображеннями та забезпечення інтерпретованості результатів, потребує

подальших досліджень. Це обумовлює необхідність розроблення нових підходів до автоматизованого аналізу уражень шкіри, що поєднують ефективні моделі глибокого навчання з методами підвищення стійкості та пояснюваності прогнозів.

---

### Мета статті

---

Метою даної роботи є розроблення системи автоматизованого аналізу уражень шкіри на основі методів глибокого навчання для підтримки попереднього скринінгу за дерматоскопічними зображеннями. Реалізація цієї мети передбачає створення надійного підходу, здатного забезпечити стабільну роботу моделі в умовах реальних зображень та підвищити інтерпретованість отриманих результатів.

---

### Матеріали та методи

---

*Матеріали.* Для навчання та оцінки системи використано набір дерматоскопічних зображень HAM10000, який містить 10 000 знімків шкіри людини, класифікованих за сімома діагностичними категоріями: меланоцитарні невуси (nv), меланома (mel), доброякісні кератозоподібні ураження (bkl), базально-клітинна карцинома (bcc), актинний кератоз / хвороба Боуена (akiec), дерматофіброма (df) та судинні ураження (vasc). Набір демонструє сильний дисбаланс класів, при якому доброякісні ураження представлені значно частіше, ніж злоякісні. Для підготовки даних застосовано стратифіковане розділення на навчальну, валідаційну та тестову підмножини, що дозволяє зберегти пропорції класів у всіх розділеннях.

*Методи.* Система реалізована як двоетапний конвеєр глибокого навчання:

– Виявлення шкіри: бінарний класифікатор на основі MobileNetV3-Small, який приймає зображення розміром 224×224 пікселів. Це дозволяє ефективно відфільтрувати нерелевантні області.

– Класифікація уражень: порівнювались дві версії: EfficientNet-B3 (300×300 пікселів) та EfficientNet-B4 (380×380 пікселів), що забезпечує різну деталізацію при виділенні складних ознак у семи діагностичних категоріях.

Для покращення якості навчання та узагальнення моделей застосовано:

Попередню обробку зображень (масштабування, нормалізація за ImageNet).

Доповнення даних: випадкове кадрування, обертання, горизонтальне та вертикальне перевертання, афінні трансформації, регулювання яскравості, контрасту, насиченості та гаусове розмиття.

Щоб вирішити проблему дисбалансу класів, застосовано зважену випадкову вибірку та введено ваги класів у функцію втрат перехресної ентропії, що дозволяє підвищити увагу моделі до рідкісних категорій.

Моделі навчалися за допомогою оптимізатора AdamW з різними стратегіями планування швидкості навчання: для MobileNetV3 – «зменшення на плато»,

для EfficientNet-B4 – косинусне зменшення швидкості. Навчання виконувалося на GPU для прискорення обчислень.

Для підвищення інтерпретованості результатів застосовано метод Grad-CAM, який дозволяє візуально виділити ділянки зображень, що найбільше впливають на прогноз.

Для користувачів створено інтерактивний інтерфейс на базі Gradio, що дозволяє завантажувати зображення, обирати ділянку для аналізу, переглядати прогнозований діагноз та оцінку достовірності, а також карту уваги Grad-CAM і короткі автоматично згенеровані пояснення.

**Виклад основного матеріалу**

*Метод збереження цифрових медичних* Для автоматизованого аналізу уражень шкіри розроблено двоетапну систему на основі глибокого навчання. Перший етап передбачає виявлення ділянок шкіри за допомогою бінарного класифікатора на основі архітектури MobileNetV3-Small, що дозволяє відфільтрувати фонові області та сторонні об'єкти, зменшуючи кількість хибних прогнозів (рис. 1).

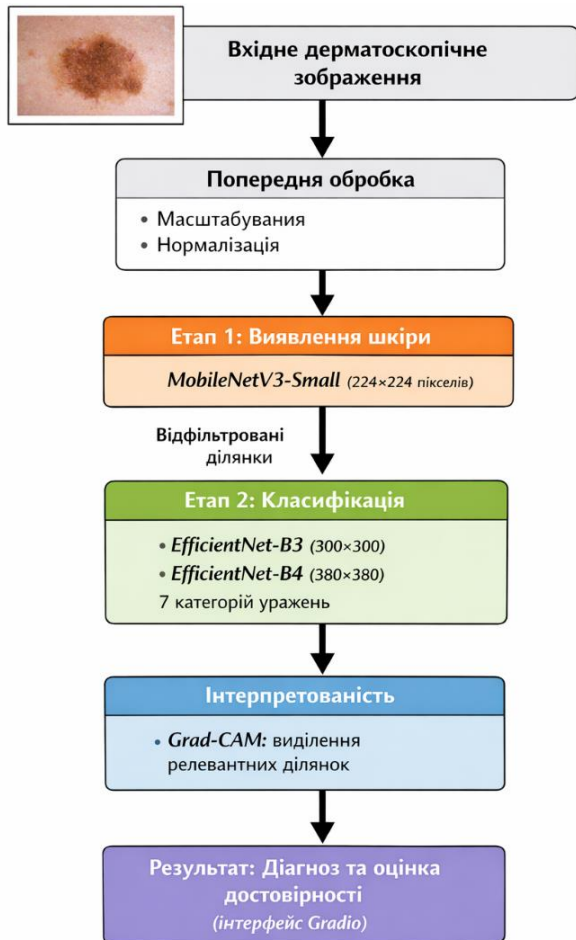


Рис. 1 – Двоетапний pipeline системи глибокого навчання для автоматизованого аналізу уражень шкіри

На другому етапі здійснюється класифікація уражень шкіри з використанням моделей EfficientNet-B3 та EfficientNet-B4, які забезпечують високоточне виділення складних ознак за сімома діагностичними категоріями.

Для навчання та оцінки моделей використано набір дерматоскопічних зображень HAM10000, що містить 10 000 знімків із семи категорій уражень. Дані розділено на навчальну, валідаційну та тестову підмножини за допомогою стратифікованої вибірки для збереження пропорцій класів. Перед навчанням зображення масштабувалися до 224x224 пікселів та нормалізувалися відповідно до параметрів ImageNet.

Для підвищення узагальнювальної здатності моделей застосовувалися методи доповнення даних: випадкове кадрування, горизонтальні та вертикальні відзеркалення, обертання, афінні перетворення, зміна яскравості, контрастності та насиченості, а також гаусове розмиття. Доповнення застосовувалося лише до навчальної підмножини. Для подолання дисбалансу класів використовувалися зважена випадкова вибірка та ваги класів у функції втрат перехресної ентропії.

Навчання здійснювалося з оптимізатором AdamW, і застосуванням адаптивного зменшення швидкості навчання: для MobileNetV3 – при відсутності покращення на валідації, для EfficientNet – за косинусною схемою.

Інтерпретованість моделі забезпечується методом Grad-CAM, який формує теплові карти, що виділяють ділянки зображень, які найбільше впливають на прогноз. Для практичного використання системи створено інтерактивний інтерфейс на базі Gradio, що дозволяє завантажувати зображення, отримувати діагноз із оцінкою достовірності та переглядати теплові карти.

Оцінка ефективності здійснювалася за метриками accuracy, precision, recall, F1-score та матрицею невідповідностей, що дозволяє оцінити продуктивність моделей для кожного класу окремо та визначити придатність системи для попереднього скринінгу уражень шкіри.

**Результати та їх обговорення**

Для перевірки ефективності запропонованого підходу було проведено серію експериментів із використанням набору дерматоскопічних зображень HAM10000 (рис. 2). Навчання та оцінювання моделей здійснювалися на навчальній, валідаційній та тестовій підмножинах даних. Під час експериментів аналізувалася динаміка зміни значень точності класифікації та функції втрат на різних етапах навчання.

Результати навчання показали стабільну збіжність моделей і поступове зменшення значення функції втрат на валідаційній вибірці, що свідчить про ефективність обраної конфігурації навчання. У процесі експериментального дослідження було встановлено, що модель EfficientNet-B4 продемонструвала значно вищу точність класифікації (94%) порівняно з моделлю

EfficientNet-B3, для якої показник accuracy склав 78,5 %. Така різниця пояснюється особливостями архітектури EfficientNet, що базується на принципі compound scaling – одночасному масштабуванні глибини мережі, її ширини та розміру вхідного зображення.

```

Class distribution:
dx
nv      6705
mel     1113
bkl     1099
bcc     514
akiec   327
vasc    142
df      115
Name: count, dtype: int64
    
```

Рис. 2 – Аналізована кількість зображень

Модель EfficientNet-B4 має більшу кількість параметрів і працює з вищою роздільною здатністю вхідних зображень (380×380 пікселів) порівняно з EfficientNet-B3 (300×300 пікселів). Використання більшої роздільної здатності дозволяє моделі зберігати більше візуальної інформації та краще виявляти дрібні структурні особливості на зображеннях, що особливо важливо для задач медичної класифікації. Більша глибина та кількість параметрів забезпечують вищу репрезентативну здатність моделі, що дозволяє ефективніше виділяти складні ознаки та залежності у даних.

Додатково, використання попередньо навчених ваг на ImageNet дозволяє EfficientNet-B4 ефективніше переносити узагальнені візуальні ознаки у нову предметну область та швидше адаптуватися до специфіки HAM10000. Таким чином, отримані результати свідчать, що використання більш масштабованої архітектури EfficientNet-B4 дозволяє досягти значно кращої якості класифікації порівняно з EfficientNet-B3.

Модель EfficientNet-B4 продемонструвала високу здатність до розпізнавання візуальних ознак дерматоскопічних зображень і досягла високих показників точності класифікації для більшості діагностичних категорій.

Для порівняння ефективності різних архітектур на тестовій вибірці наведено таблицю з основними метриками (табл. 1). Для детальнішого аналізу ефективності моделі EfficientNet-B4 наведено окрему таблицю з метриками precision, recall та F1-score для кожного класу уражень шкіри (табл. 2). Дані метрики дозволяють оцінити: Accuracy – загальну ефективність, Precision – наскільки передбачення моделі для хвороби надійні, Recall – наскільки добре модель знаходить всі випадки хвороби, F1-score – баланс між Precision та Recall, особливо важливий при рідкісних патологіях

Таблиця 1

Порівняння ефективності різних архітектур

Архітектура	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
EfficientNet-B3	78,5	78,5	80,0	79
DenseNet-121	88	86,5	87	87
EfficientNet-B4	94	94	90	92

Найкращі результати спостерігалися для класів із чітко вираженими морфологічними ознаками, тоді як окремі труднощі виникали під час розмежування візуально подібних категорій уражень.

Таблиця 2

Метрики precision, recall та F1-score для кожного класу уражень шкіри

Клас ураження	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
Actinic keratoses (akiec)	90	89	90
Basal cell carcinoma (bcc)	93	90	92
Benign keratosis (bkl)	88	86	87
Dermatofibroma (df)	80	83	83
Melanoma (mel)	90	88	89
Melanocytic nevus (nv)	93	93	93
Vascular lesions (vasc)	88	87	88

Запропонована двоетапна архітектура (визначення ділянок шкіри + класифікація) показала переваги порівняно з підходами, що використовують лише одну модель класифікації. Використання попереднього етапу виявлення шкіри дозволило зменшити кількість помилкових прогнозів, пов'язаних із аналізом фонових областей або сторонніх об'єктів на зображеннях. У результаті система демонструє більш стабільну роботу в умовах реальних фотографічних даних, де можливі різноманітні шуми та нерелевантні елементи.

Додатковий аналіз результатів показав, що застосування методів доповнення даних та стратегій балансування класів позитивно вплинуло на узагальнювальну здатність моделі. Використання зваженої випадкової вибірки та ваг класів у функції втрат дозволило підвищити точність розпізнавання рідкісних категорій уражень, що є важливим для медичних застосувань.

Використання методу Grad-CAM забезпечило можливість візуального аналізу роботи моделі. Отримані теплові карти демонструють (рис. 3), що нейронна

мережа зосереджує увагу на ділянках зображення, які відповідають патологічним змінам шкіри, що підтверджує коректність процесу прийняття рішень моделлю та підвищує довіру до результатів автоматизованого аналізу.

Отримані результати узгоджуються з сучасними дослідженнями у сфері автоматизованого аналізу дерматоскопічних зображень, де згорткові нейронні мережі демонструють високу ефективність у задачах класифікації уражень шкіри. Водночас запропонований у роботі двоетапний підхід дозволяє підвищити стійкість системи до шумових факторів та нерелевантних областей зображення, що є важливою перевагою порівняно з підходами, які використовують лише одну модель класифікації.

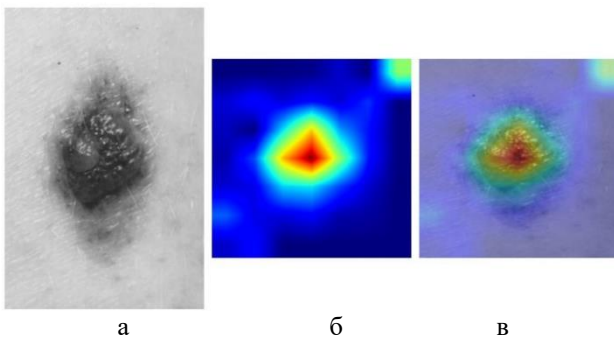


Рис. 3 – Візуалізація важливих ділянок моделі за допомогою Grad-CAM: а – оригінальне зображення, б – теплова карта Grad-CAM, в – накладення карти уваги моделі на оригінальне зображення

Таким чином, результати експериментів підтверджують ефективність запропонованого підходу та демонструють можливість використання двоетапної системи глибокого навчання для задач автоматизованого аналізу дерматоскопічних зображень. Результати свідчать про перспективність використання подібних систем як інструментів підтримки попереднього скринінгу уражень шкіри та допомоги у ранньому виявленні онкологічних захворювань.

### Висновки

Отримані результати демонструють ефективність глибокого навчання для автоматизованого аналізу дерматоскопічних зображень. Архітектура EfficientNet-B4 забезпечила високу точність класифікації, а двоетапна структура системи (виявлення шкіри + класифікація уражень) підвищила стійкість до нерелевантних і зашумлених даних. Методи доповнення даних та балансування класів покращили узагальнювальні здатності моделей, особливо для рідкісних патологій. Використання Grad-CAM забезпечило прозорість роботи системи та підвищило довіру до результатів.

Наукова новизна роботи полягає у: поєднанні двоетапного підходу; інтеграції методів пояснюваного

AI та створенні практичного інтерфейсу для клінічного використання.

Подальші дослідження можуть включати більші набори даних, ансамблі моделей та додаткову клінічну інформацію для підвищення точності діагностики.

### Фінансування та подяки

Роботу виконано з використанням матеріально-технічних ресурсів Сілезького університету технологій (Politechnika Śląska), факультету біомедичної інженерії (Faculty of Biomedical Engineering), в рамках навчальної роботи без додаткових джерел фінансування.

### Перелік використаних джерел

- [1] Bozkurt F. Skin lesion classification on dermoscopic images using effective data augmentation and pre-trained deep learning approach. *Multimedia Tools and Applications*. 2023. Vol. 82. Pp. 18985–19003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-14095-1>.
- [2] Advances in Deep Learning for Medical Image Analysis: A Comprehensive Investigation / R. R. Kumar et al. *Journal of Statistical Theory and Practice*. 2025. Vol. 19. Article 9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42519-024-00422-2>.
- [3] Shobayo O., Saatchi R. Developments in Deep Learning Artificial Neural Network Techniques for Medical Image Analysis and Interpretation. *Diagnostics*. 2025. Vol. 15, no. 9. Article 1072. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15091072>.
- [4] Unraveling the Impact of Class Imbalance on Deep-Learning Models for Medical Image Classification / C. J. Hellin et al. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 8. Article 3419. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14083419>.
- [5] Evaluating the robustness of explainable AI in medical image recognition under natural and adversarial data corruption / S. Repetto et al. *Machine Learning*. 2026. Vol. 115. Article 4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10994-025-06919-6>.
- [6] Transformers in Skin Lesion Classification and Diagnosis: A Systematic Review / A. Adebisi et al. *MedRxiv*. 2024. Preprint. DOI: <https://doi.org/10.1101/2024.09.19.24314004>.
- [7] Skin lesion classification of dermoscopic images using machine learning and convolutional neural network / B. Shetty et al. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Article 18134. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22644-9>.
- [8] Classification of Skin Lesions Using Convolutional Neural Networks and Soft Attention / Tran N.-T., Le X.-K., Pham T.-T.-H., Le T.-H. *10th International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam*, Phan Thiet, Vietnam, 25-27 July 2024. Pp. 289–304. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-90194-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-90194-2_21).

- [9] Alruwaili M., Mohamed M. An Integrated Deep Learning Model with EfficientNet and ResNet for Accurate Multi-Class Skin Disease Classification. *Diagnostics*. 2025. Vol. 15, no. 5. Article 551. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15050551>.
- [10] Ahmed A., Hengy M., Daveluy S. Comparative evaluation of AI algorithms for dermoscopic image analysis in skin disease diagnosis: a systematic review of model accuracy and methodological heterogeneity. *Archives of Dermatological Research*. 2026. Vol. 318. Article 64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00403-025-04458-7>.
- [11] Tschandl P., Rosendahl C., Kittler H. The HAM10000 dataset: A large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5. Article 180161. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161>.
- [12] Handling imbalanced medical datasets: review of a decade of research / M. Salmi et al. *Artificial Intelligence Review*. 2024. Vol. 57. Article 273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10884-2>.
- [13] DermViT: Diagnosis-Guided Vision Transformer for Robust and Efficient Skin Lesion Classification / X. Zhang et al. *Bioengineering*. 2025. Vol. 12, no. 4. Article 421. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering12040421>.
- [14] Shih P. E., Oh D. H. Artificial Intelligence for Dermatological Image Quality Assessment. *Current Dermatology Reports*. 2025. Vol. 14. Article 23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13671-025-00483-x>.
- [15] Efficient and real-time skin lesion image segmentation using spatial-frequency information and channel convolutional networks / Liu S., Zhou B., Lin Y., Wang P. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2024. Vol. 21. Article 165. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11554-024-01542-5>.
- [16] Aras H. H., Doğan N. A comparative analysis for skin cancer detection by using explainable deep learning. *Neural Comput & Applic*. 2026. Vol. 38. Article 50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11809-y>.
- [17] Enhancing Skin Cancer Diagnosis with XAI: Integrating Grad-CAM, SHAP, and LIME for Model Interpretability / D. Jadhav et al. 2025 6th International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 23-25 May 2025. Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1109/INCET64471.2025.11140007>.

## A TWO-STAGE DEEP LEARNING SYSTEM FOR SKIN LESION CLASSIFICATION

- Nechiporenko N.I.** student, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, e-mail: [nataliakhotsenko@gmail.com](mailto:nataliakhotsenko@gmail.com);
- Khomenko O.S.** PhD (Engineering), associate professor, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3753-3033>, e-mail: [o.s.khomenko@ust.edu.ua](mailto:o.s.khomenko@ust.edu.ua);
- Losikhin D.A.** senior lecturer, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-7263>, e-mail: [elenahkts@ukr.net](mailto:elenahkts@ukr.net)

*Skin cancer remains one of the most prevalent oncological diseases worldwide, and its early detection is crucial for improving treatment outcomes and reducing mortality rates. In this regard, the application of artificial intelligence techniques for the automated analysis of dermoscopic images has gained significant attention. This study presents a two-stage deep learning framework for the classification of skin lesions, integrating a preliminary skin region detection stage with a subsequent diagnostic classification stage. In the first stage, a MobileNetV3-Small model is employed to identify the presence of skin regions within input images, enabling the exclusion of irrelevant background areas and thereby reducing the likelihood of erroneous predictions. In the second stage, an EfficientNet-B4 convolutional neural network is utilized to classify lesions into seven diagnostic categories, including melanoma, basal cell carcinoma, dermatofibroma, and other clinically relevant classes. To enhance model performance and generalization capability, a comprehensive data processing pipeline is implemented, incorporating image preprocessing, data augmentation techniques, and class balancing strategies. These approaches mitigate the effects of class imbalance and improve the robustness of the model when applied to real-world data. Furthermore, model interpretability is addressed through the use of the Grad-CAM method, which enables visualization of the most influential regions contributing to the model's predictions, thereby increasing the transparency and reliability of the system for medical applications. The proposed approach is evaluated on the publicly available HAM10000 dermoscopic image dataset, comprising 10,000 images across seven diagnostic categories. Experimental results demonstrate that the EfficientNet-B4 model achieves high classification performance, with accuracy reaching up to 94%, outperforming several alternative architectures. The inclusion of the initial skin detection stage further enhances system robustness by reducing the impact of noise and irrelevant image content. In conclusion, the developed two-stage deep learning system demonstrates strong potential as a decision-support tool for preliminary skin lesion screening, facilitating early detection of oncological conditions and contributing to improved*

diagnostic workflows. The findings of this study highlight the effectiveness and highlight the effectiveness and potential of deep learning methods deep learning methods in biomedical engineering and medical imaging applications.

**Keywords:** artificial intelligence; deep learning; skin lesion classification; dermatoscopic images; convolutional neural networks; early detection of skin cancer; explanatory artificial intelligence; HAM10000 dataset.

### References

- [1] F. Bozkurt, "Skin lesion classification on dermatoscopic images using effective data augmentation and pre-trained deep learning approach," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, pp. 18985–19003, 2023. doi: [10.1007/s11042-022-14095-1](https://doi.org/10.1007/s11042-022-14095-1).
- [2] R. R. Kumar, S. V. Shankar, R. Jaiswal, M. Ray, N. Budhlakoti, and K. N. Singh, "Advances in Deep Learning for Medical Image Analysis: A Comprehensive Investigation," *Journal of Statistical Theory and Practice*, vol. 19, article 9, 2025. doi: [10.1007/s42519-024-00422-2](https://doi.org/10.1007/s42519-024-00422-2).
- [3] O. Shobayo and R. Saatchi, "Developments in Deep Learning Artificial Neural Network Techniques for Medical Image Analysis and Interpretation," *Diagnostics*, vol. 15, no. 9, article 1072, 2025. doi: [10.3390/diagnostics15091072](https://doi.org/10.3390/diagnostics15091072).
- [4] C. J. Hellín, A. A. Olmedo, A. Valledor, J. Gómez, M. López-Benítez, and A. Tayebi, "Unraveling the Impact of Class Imbalance on Deep-Learning Models for Medical Image Classification," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 8, article 3419, 2024. doi: [10.3390/app14083419](https://doi.org/10.3390/app14083419).
- [5] S. Repetto, I. Maljkovic, M. Lotto, A. E. Cinà, S. Vascon, and F. Roli, "Evaluating the robustness of explainable AI in medical image recognition under natural and adversarial data corruption," *Machine Learning*, vol. 115, article 4, 2026. doi: [10.1007/s10994-025-06919-6](https://doi.org/10.1007/s10994-025-06919-6).
- [6] A. Adebiyi, N. Abdalnabi, E. J. Simoes, M. Becevic, E. H. Smith, and P. Rao, "Transformers in Skin Lesion Classification and Diagnosis: A Systematic Review," *MedRxiv*, 2024. doi: [10.1101/2024.09.19.24314004](https://doi.org/10.1101/2024.09.19.24314004).
- [7] B. Shetty, R. Fernandes, A. P. Rodrigues, R. Chengoden, S. Bhattacharya, and K. Lakshmana, "Skin lesion classification of dermatoscopic images using machine learning and convolutional neural network," *Scientific Reports*, vol. 12, article 18134, 2022. doi: [10.1038/s41598-022-22644-9](https://doi.org/10.1038/s41598-022-22644-9).
- [8] N.-T. Tran, X.-K. Le, T.-T.-H. Pham, and T.-H. Le, "Classification of Skin Lesions Using Convolutional Neural Networks and Soft Attention," in *Proc. of the 10th Int. Conf. on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam*, Phan Thiet, Vietnam, July 25-27, 2024, pp. 289–304. doi: [10.1007/978-3-031-90194-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-90194-2_21).
- [9] M. Alruwaili, and M. Mohamed, "An Integrated Deep Learning Model with EfficientNet and ResNet for Accurate Multi-Class Skin Disease Classification," *Diagnostics*, vol. 15, no. 5, article 551, 2025. doi: [10.3390/diagnostics15050551](https://doi.org/10.3390/diagnostics15050551).
- [10] A. Ahmed, M. Hengy, and S. Daveluy, "Comparative evaluation of AI algorithms for dermatoscopic image analysis in skin disease diagnosis: a systematic review of model accuracy and methodological heterogeneity," *Archives of Dermatological Research*, vol. 318, article 64, 2026. doi: [10.1007/s00403-025-04458-7](https://doi.org/10.1007/s00403-025-04458-7).
- [11] P. Tschandl, C. Rosendahl, and H. Kittler, "The HAM10000 dataset: A large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions," *Scientific Data*, vol. 5, article 180161, 2018. doi: [10.1038/sdata.2018.161](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161).
- [12] M. Salmi, D. Atif, D. Oliva, A. Abraham, and S. Ventura, "Handling imbalanced medical datasets: review of a decade of research," *Artificial Intelligence Review*, vol. 57, article 273, 2024. doi: [10.1007/s10462-024-10884-2](https://doi.org/10.1007/s10462-024-10884-2).
- [13] X. Zhang, et al., "DermViT: Diagnosis-Guided Vision Transformer for Robust and Efficient Skin Lesion Classification," *Bioengineering*, vol. 12, no. 4, article 421, 2025. doi: [10.3390/bioengineering12040421](https://doi.org/10.3390/bioengineering12040421).
- [14] P. E. Shih, and D. H. Oh, "Artificial Intelligence for Dermatological Image Quality Assessment," *Current Dermatology Reports*, vol. 14, article 23, 2025. doi: [10.1007/s13671-025-00483-x](https://doi.org/10.1007/s13671-025-00483-x).
- [15] S. Liu, B. Zhou, Y. Lin, and P. Wang, "Efficient and real-time skin lesion image segmentation using spatial-frequency information and channel convolutional networks," *Journal of Real-Time Image Processing*, vol. 21, article 165, 2024. doi: [10.1007/s11554-024-01542-5](https://doi.org/10.1007/s11554-024-01542-5).
- [16] H.H. Aras, and N. Doğan, "A comparative analysis for skin cancer detection by using explainable deep learning", *Neural Comput & Applic*, vol. 38, article 50, 2026. doi: [10.1007/s00521-025-11809-y](https://doi.org/10.1007/s00521-025-11809-y).
- [17] D. Jadhav, A. Yadav, A. Yadav, Y. Dusankar, Y. Nalawade, and S. Yawale, "Enhancing Skin Cancer Diagnosis with XAI: Integrating Grad-CAM, SHAP, and LIME for Model Interpretability," in *Proc. 6th International Conference for Emerging Technology (INCET)*, Belgaum, India, 23-25 May 2025, pp. 1-8, 2025. doi: [10.1109/INCET64471.2025.11140007](https://doi.org/10.1109/INCET64471.2025.11140007).

Стаття надійшла 05.03.2026

Стаття прийнята 21.03.2026

Стаття опублікована 26.03.2026

**Цитуйте цю статтю як:** Нечипоренко Н. І., Хоменко О. С., Лосіхін Д. А. Двоетапна система глибокого навчання для класифікації уражень шкіри. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Вип. 53, том 2. С. 93–99. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.2.2026.359935>.