

УДК 004.8

Ищук-Яшурина С.Я.<sup>1</sup>, Кліменко В.І.<sup>2</sup>, Мазурець О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Комунальний заклад загальної середньої освіти

«Лицей №7 Хмельницької міської ради»

<sup>2</sup> Хмельницький національний університет

## ПОЯСНЕНИЙ ПІДХІД ДО НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ ОЧНОГО ДНА

*Робота присвячена поясненній нейромережевій класифікації діабетичної ретинопатії за зображеннями очного дна, орієнтованій на потреби масового скринінгу. Запропоновано підхід, у якому багатокласова модель глибокого навчання доповнюється картами значущості, що візуалізують внесок локальних патологічних змін у класифікаційне рішення та дозволяють зіставити його з офтальмологічною оцінкою. Узгодженість пояснень перевіряється на підвибірці зображень з експертною розміткою, що дає змогу виявити залежність моделі від артефактів і підвищити довіру лікарів до автоматизованої системи. Отримані результати формують основу для інтеграції пояснених нейромережесих рішень у клінічні протоколи скринінгу діабетичної ретинопатії.*

*The study focuses on explainable neural network-based classification of diabetic retinopathy from fundus images in the context of large-scale screening. A multiclass deep learning model is augmented with saliency maps that highlight the contribution of local pathological changes to the final prediction, enabling alignment between automated decisions and ophthalmologists' visual assessment. Consistency of the explanations is evaluated on a subset of images with expert lesion annotations, which helps reveal model dependence on artefacts and increases clinicians' trust in the system. The results provide a basis for integrating explainable deep learning tools into clinical screening protocols for diabetic retinopathy.*

Діабетична ретинопатія є однією з провідних причин незворотної втрати зору у працездатному віці, причому клінічно значущі зміни сітківки тривалий час залишаються безсимптомними [1, 2]. Це зумовлює потребу в інструментах раннього виявлення патології на основі зображень очного дна, здатних працювати у масових скринінгових програмах [3]. Традиційні методи скринінгу, що базуються на ручному аналізі зображень очного дна фахівцями-офтальмологами, є трудомісткими, залежними від суб'єктивної оцінки та не завжди здатні задовольнити потреби масового скринінгу у великих популяціях. У цьому контексті автоматизовані методи комп'ютерного зору, зокрема нейромережесі моделі

глибокого навчання, демонструють значний потенціал у швидкому й точному виявленні ознак патологій на ретинальних зображеннях [4].

Використання згорткових нейронних мереж [5, 6] дозволяє ефективно виявляти локальні та глобальні патерни, характерні для різних стадій діабетичної ретинопатії, забезпечуючи багатокласову класифікацію з високою точністю [7, 8]. Пояснювані методи, такі як карти значущості або теплові мапи, доповнюють нейромережеві підходи можливістю ідентифікувати ключові регіони зображення [9], які вплинули на рішення моделі, що робить результати більш прозорими для клінічних спеціалістів. Такий підхід сприяє підвищенню довіри лікарів до автоматизованих систем, дозволяє виявляти потенційні артефакти та помилки моделі, а також забезпечує інтеграцію результатів у існуючі клінічні протоколи.

Загалом, нейромережеві моделі демонструють високу точність класифікації стадій діабетичної ретинопатії, однак їх застосування у клінічній практиці стримується «чорним ящиком» прийняття рішень [10, 11]. Відсутність прозорих пояснень, які б узгоджувались із офтальмологічними уявленнями про морфологічні зміни сітківки, знижує довіру лікарів до автоматизованих систем і ускладнює інтеграцію таких рішень у регламентовані діагностичні протоколи.

Метою роботи є формування поясненого підходу до нейромережевої класифікації діабетичної ретинопатії за зображеннями очного дна, у якому кінцеві діагностичні рішення доповнюються інтерпретованими візуальними та кількісними поясненнями, релевантними клінічній практиці. Для досягнення цієї мети пропонується узгоджена обчислювальна схема, що поєднує попередню нормалізацію та стандартизацію зображень, багатокласову нейромережеву модель класифікації стадій ураження та модулі пояснення, орієнтовані на виявлення та візуалізацію патологічних структур.

На рівні класифікації використовується глибока згорткова або трансформерна архітектура, адаптована до особливостей кольорових фундус-знімків: моделюється глобальний стан сітківки та локальні патологічні утворення, зокрема мікроаневризми, крововиливи, тверді й м'які ексудати, неоваскуляризація. Балансування навчальної вибірки, підбір аугментацій та контроль якості вхідних зображень спрямовані на стабілізацію роботи моделі для різних джерел даних і оптичних систем. Вихідною величиною є не лише класова мітка стадії діабетичної ретинопатії, а й вектор впевненостей, що надалі використовується у модулі пояснення.

Поясненість досягається за рахунок поєднання локальних і глобальних інтерпретацій. Локальні пояснення формуються у вигляді карт значущості, побудованих методами градієнтно-активаційної візуалізації та інтегрованих градієнтів. Такі карти проєктуються на вихідне зображення очного дна, виділяючи

ділянки, що найбільше вплинули на віднесення до певної стадії, та дозволяють лікарю співвіднести нейромережеве рішення з реальною локалізацією патологічних змін. Глобальні пояснення реалізуються на основі агрегованого аналізу багатьох зображень: оцінюються типові патерни активації моделі для кожного класу, характерні ділянки сітківки, які найчастіше виявляються релевантними, а також розподіл значущості між основними морфологічними ознаками.

Важливим компонентом поясненого підходу є перевірка узгодженості пояснень з експертною офтальмологічною оцінкою. Для цього передбачається формування підвибірки зображень з незалежною розміткою патологічних утворень лікарями-експертами. На цій підвибірці аналізується ступінь накладання карт значущості на вручну позначені області інтересу, а також якісно оцінюється відповідність візуалізованих патернів очікуваній клінічній картині. Такий підхід дозволяє виявляти випадки, коли модель досягає прийнятних метрик точності за рахунок небажаних «шорткатів», пов'язаних не з патологією, а з артефактами зображення чи особливостями збору даних.

Запропонована концепція поясненої нейромережевої класифікації діабетичної ретинопатії створює підґрунтя для розроблення клінічно орієнтованих систем підтримки прийняття рішень, у яких високі показники автоматизованого розпізнавання поєднуються з прозорістю, відтворюваністю та можливістю експертного контролю. Очікується, що інтеграція таких систем у скринінгові програми сприятиме ранньому виявленню пацієнтів з ризиком прогресування діабетичної ретинопатії, підвищенню ефективності направлення до офтальмолога та оптимізації використання ресурсів охорони здоров'я, зберігаючи при цьому ключову роль лікаря в інтерпретації та верифікації результатів

### **Перелік посилань**

1. Muthusamy, D., & Palani, P. (2024). Deep learning model using classification for diabetic retinopathy detection: an overview. *Artificial Intelligence Review*, 57(7), 185.
2. Youldash, M., Rahman, A., Alsayed, M., Sebiany, A., Alzayat, J., Aljishi, N., ... & Alqahtani, M. (2024). Early Detection and Classification of Diabetic Retinopathy: A Deep Learning Approach. *AI*, 5(4).
3. Thanikachalam, V., Kabilan, K., & Erramchetty, S. K. (2024). Optimized deep CNN for detection and classification of diabetic retinopathy and diabetic macular edema. *BMC Medical Imaging*, 24(1), 227.
4. Saproo, D., Mahajan, A. N., & Narwal, S. (2024). Deep learning based binary classification of diabetic retinopathy images using transfer learning approach. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 23(2), 2289-2314.
5. Mushtyn O., Sobko O., Molchanova M., Mazurets O. Convolutional Neural Network Architecture for Image-Based Architectural Style Recognition. *Evolving Science: Theories*,

- Discoveries and Practical Outcomes. Proceedings of 4th International Scientific and Practical Conference. June 9-11, 2025. Zurich, Switzerland. Pp. 130-143.
6. Hladun O.V., Molchanova M.O., Zalutska O.O., Mazurets O.V. Effectiveness research of using ViT neural network architecture for classifying the destroyed buildings remains. Achievements of Science and Applied Research. Proceedings of 2nd International Scientific and Theoretical Conference. May 19-21, 2025. Dublin, Ireland. Pp. 96-100.
7. Malaydakh V., Molchanova M., Shevchuk P., Mazurets O. Deep learning neural network architecture for determining sunflower growth stage from visual data. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 143-148.
8. Дідур В.О., Молчанова М.О., Мазурець О.В. Спосіб виявлення та класифікації залишків зруйнованих будівель та будівельного сміття за фотографіями з використанням моделей CNN. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №1 (42). С. 1162-1175.
9. Pokhytun A., Mazurets O., Molchanova M., Tyschenko O. Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN. New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. October 21-23, 2024. Marseille, France. 2024. Pp. 35-40.
10. Mazurets O. V., Klimenko V. I., Molchanova M. O., Sultanov A. V. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones. Global Science: Prospects and Innovations. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 198-207.
11. Запорожець М.В., Молчанова М.О., Скрипник Т.К. Метод виявлення патологій мозку за зображеннями магнітно-резонансної терапії нейромережевими засобами. Збірник наукових праць за матеріалами XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023». Хмельницький, 2023. с. 108-110.