

**Терейковський І.А.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Кулаков Ю.О.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Терейковський О.І.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПАРАМЕТРИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСОБИ ЗА РАЙДУЖНОЮ ОБОЛОНКОЮ ТА СІТКІВКОЮ ОКА

*Стаття присвячена розв'язанню проблеми вдосконалення засобів біометричної аутентифікації користувачів комп'ютерних систем загального призначення. Обґрунтована перспективність застосування засобів, що базуються на аналізі райдужної оболонки та сітківки ока, тобто біометричних параметрів, які асоціюються із зображенням ока людини. За результатами літературного огляду визначена обмеженість сучасних підходів до розробки засобів біометричної аутентифікації на основі райдужної оболонки та сітківки ока, яка стосується оцінки ефективності вказаних засобів, що ускладнює як окреслення можливостей їх застосування в різноманітних умовах експлуатації, так і прогнозування напрямів їх удосконалення. За аналогією з відомими рішеннями в галузі проектування засобів розпізнавання емоцій передбачена можливість виправлення вказаного недоліку шляхом розробки методу оцінки ефективності засобів аналізу біометричних параметрів, що асоціюються із зображенням ока людини та можуть бути зареєстровані за допомогою поширеного апаратного забезпечення. Показано, що розробка такого методу призводить до необхідності формування відповідної множини параметрів оцінки ефективності. На основі результатів відомих засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока визначено, що в першому наближенні параметри оцінки ефективності доцільно співвіднести з точністю та обчислювальною складністю розпізнавання особи, можливістю визначення заданого переліку контрольних точок, скелетизації зображення та виділення кордонів сфери аналізу, стійкістю до різноманітних завад, можливістю аналізу монохромних, напівтонових та кольорових зображень, а також з можливістю розпізнавання особи на основі аналізу частини зображення. Показана доцільність доповнення сформованої множини за рахунок параметрів, що відображають ефективність нейромережових моделей, які використовуються для аналізу. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень зі створенням методу адаптації засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення та із застосуванням у таких засобах нейромережових технологій на основі згорткових нейронних мереж.*

**Ключові слова:** райдужна оболонка ока, сітківка ока, біометричний параметр, ефективність, розпізнавання особи, засоби розпізнавання.

**Постановка проблеми.** Практичний досвід та дані численних публікацій свідчать про те, що вдосконалення сучасних комп'ютерних систем значною мірою корелюється з вирішенням завдання розробки високонадійних та високоефективних засобів розпізнавання особи користувача на базі аналізу біометричних параметрів, які можна зареєструвати за допомогою доступного апаратного забезпечення. При цьому можливість

безконтактної реєстрації первинної інформації, висока точність, швидкість розпізнавання визначають перспективність засобів аналізу біометричних параметрів (БП), асоційованих із зображенням ока користувача. До таких БП належать райдужна оболонка ока (РО) та сітківка ока (СО) [2; 3]. До незаперечних переваг використання зазначених БП належать висока стабільність і унікальність, що своєю чергою визначає можливість

отримання високонадійних результатів аналізу. Недоліками сучасних засобів аналізу зазначених параметрів є необхідність використання складних засобів обробки зареєстрованих зображень, не досить адаптованих до аналізу зашумлених даних [8; 9]. Передбачається, що широке впровадження в комп'ютерні системи удосконалених засобів аналізу параметрів РО та СО дозволить не тільки підвищити ефективність систем біометричної аутентифікації, а й знайде своє застосування в медицині [11]. Водночас практичний досвід та результати науково-прикладних робіт [10; 12] вказують на необхідність суттєвої модернізації таких засобів у напрямі зменшення ресурсоемності, збільшення точності розпізнавання та підвищення рівня адаптації до інших умов застосування, що і зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** РО – це забарвлене кільце навколо зіниці ока, що складається з м'язової та сполучної тканин та пігментних клітин [11]. Рисунок РО є унікальним і не повторюється навіть у близнюків. Вважається, що у РО міститься набагато більше даних, ніж у відбитку пальця або інших БП. На відміну від РО, СО розташована всередині ока і просканувати її оптичним сенсором неможливо. Для цього СО підсвічується інфрачервоним променем, який пропускається через зіницю ока. Результат фіксується за допомогою інфрачервоної камери. Процес аналізу параметрів РО та СО можна умовно розділити на етапи попередньої обробки і власне розпізнавання [6; 11]. Технологія попередньої обробки РО полягає у послідовному виконанні таких кроків, як: аналіз якості зображення ока; виділення внутрішнього і зовнішнього кордонів РО; геометричне перетворення виділеної РО для нормалізації зображення. Особливістю попередньої обробки СО є необхідність виявлення кордонів зіниці ока та чіткого окреслення контурів судин ока. У разі заздалегідь сформованої номенклатури параметрів, що підлягають аналізу, розпізнавання РО та СО полягає у визначенні величин вказаних параметрів, формуванні тестового образу і порівняння цього образу з одним або декількома зразками.

У роботах [5; 9] зазначено, що некоректність аналізу РО та СО може бути викликана: різними умовами освітлення; використанням різних засобів відеореєстрації; перешкодами від вій і повік; дефектами зіниці; темним кольором РО, через що зіниця і РО зливаються; відблесками; рухами і позиціонуванням голови; перешкодами від лінз і окулярів; змінами, які пов'язані з віком та хворобами. Відомі підходи для подолання зазначених

труднощів пов'язані як з підвищенням ефективності засобів відеореєстрації, так і з підвищенням ефективності обробки зареєстрованих параметрів.

Хоча методології розробки засобів розпізнавання особи за РО та СО присвячено досить багато досліджень, однак у проаналізованій літературі [2–6; 8–12] не знайдено методу оцінки їх ефективності, що ускладнює як окреслення можливостей їх застосування в різноманітних умовах експлуатації, так і прогнозування напрямів їх удосконалення. За аналогією з відомими рішеннями в галузі засобів аналізу БП для розпізнавання емоцій людини можна передбачити, що відправним пунктом розробки такого методу має бути обґрунтування переліку параметрів, за допомогою яких можливо комплексно оцінити ефективність відповідних засобів розпізнавання особи [1].

**Постановка завдання.** Основною метою публікації є формування множини параметрів для оцінки ефективності засобів розпізнавання особи людини за біометричними параметрами, що асоціюються із зображеннями її очей та підлягають реєстрації за допомогою поширеного апаратного забезпечення. До вказаних біометричних параметрів належать райдужна оболонка ока та сітківка ока. Для формування множини параметрів ефективності слід провести дослідження відомих рішень у галузі створення та застосування відповідних засобів розпізнавання особи людини на основі аналізу вказаних біометричних параметрів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На сьогодні відома велика кількість засобів аналізу БП, що асоціюються із зображеннями РО та СО і можуть бути використані для розпізнавання особи людини. Однак обмежений обсяг публікації та обмежена доступність таких засобів зумовила можливість дослідження тільки найбільш відомих та апробованих рішень.

Так, у роботі [8] пропонується двоетапна **технологія визначення інформативних ознак РО**. На першому етапі сегментації визначається ділянка РО на зображенні. Для цього реалізується виділення ділянок, на яких немає відблисків та які не закриті віями і повіками. На другому етапі параметризації реалізується обчислення інформативних ознак.

У роботі [4] запропоновано **алгоритм обробки зображення РО** за допомогою багатомасштабних вейвлет-перетворень. Також розроблено алгоритми обчислення порогових значень для бінаризації зображення.

У роботі [10] запропоновано **метод параметризації РО** на основі виділення ключових точок

за допомогою методу перетворення Ерміта. За допомогою комп'ютерних експериментів показано, що помилка системи ідентифікації на основі зображень РО у разі використання прикладів, представлених у БД CASIA-IrisV3, становить близько 0,23%.

У роботі [4] обґрунтований **метод виділення зіниці і зовнішнього кордону РО**, який базується на детекторах краю і виділення кіл за допомогою перетворення Хафа. Показані обмеження методу, що стосуються зміни освітленості і ракурсу РО.

Робота [9] присвячена **нейромережевому аналізу зашумлених зображень РО**, зареєстрованих відеокамерою видимого діапазону світла без додаткового освітлення. Досліджувалися перешкоди, викликані поворотом очей людини, а також розмитістю зображення. Визначено кроки попередньої обробки зображень, які полягають у розрахунку центру зіниці, нормалізації зображення і приведенні нормалізованого зображення до полярної системи координат. Для розпізнавання використовувався нейромережевий ансамбль, що складається з трьох згорткових нейронних мереж (ЗНМ) типу LeNet-5. Основні відмінності полягають у зміні кількості шарів згортки і кількості карт згортки. Описано експериментальні дослідження, спрямовані на розпізнавання РО, зображення яких представлені в БД CASIA і UBIRIS. Задекларовано, що досягнута похибка розпізнавання на рівні 3%.

У статті [3] розглянуто завдання розробки **системи біометричної ідентифікації особи** на основі аналізу РО. Розроблена система передбачає локалізацію ділянки РО, нормалізацію, а потім і нейромережеве розпізнавання РО. Розпізнавання реалізоване з використанням двохшарового перцептрон (ДШП), для навчання і тестування якого застосовувалися приклади з БД CASIA. Показано, що мережа чутлива до початкового розподілу вагових коефіцієнтів. Також визначено необхідність своєчасної зупинки навчання. Запропоновано швидкий алгоритм локалізації внутрішніх і зовнішніх кордонів ділянки РО. Задекларована точність розпізнавання на рівні 93%.

Робота [8] присвячена розробці **системи розпізнавання райдужної оболонки в умовах шуму**. Розглянуто особливості викривлення зображення РО, викликані перекрыттям повіками, віями, відблисками світла, окулярами та погіршенням якості реєстрації за рахунок великої відстані до відеокамери, контактними лінзами, поганим освітленням. Запропоновано оригінальний метод виділення інформативних ознак з використанням

комбінованого підходу із застосуванням локальної двійкової структури і матриці збігів рівня сірого. Проведені експерименти з розпізнавання РО з використанням БД CASIA і MMUiris. Для розпізнавання використаний класифікатор на базі ймовірнісної нейронної мережі (НМ). Задекларований рівень розпізнавання 96,5%.

**Нейромережевій системі розпізнавання райдужної оболонки ока** присвячена робота [11]. Показано, що сучасні алгоритми сегментації РО не досить адаптовані до типових перешкод. Для вирішення проблем сегментації РО у складних ситуаціях пропонується використання ЗНМ, яка здатна визначити кордон діафрагми ока на зображеннях низької якості.

У роботі [10] розглянуто завдання побудови **методу розпізнавання РО** за допомогою глибоких НМ з прямим поширенням сигналу, для навчання якого використовується алгоритм зворотного поширення помилки. Метод передбачає виконання етапів, асоційованих з локалізацією РО на зображенні ока, нормалізацією, кодуванням і нейромережевим порівнянням.

Роботи [5; 9] присвячені розробці **нейромережевих систем біометричної аутентифікації** на основі аналізу зображення СО. Доводяться переваги НМ для аналізу СО. У [5] розроблена НМ типу тришарового перцептрон з сигмоїдальною функцією активації схованих нейронів, що застосована для аналізу попередньо оброблених двовимірних зображень СО. У [9] описана **система аналізу СО**, в якій використано ДШП з 35 схованими нейронами, на вхід якого подавались вектори ознак, що отримані шляхом перетворення сегментованого зображення СО в числові значення. Проведені комп'ютерні експерименти, що спрямовані на визначення точності розпізнавання 139 осіб на основі аналізу зображень СО розміром 768x584 пікселів. Досягнута точність розпізнавання близько 97,5%.

Схожі результати наведені в роботі [3], присвяченій розробці **системи нейромережевої ідентифікації** на базі СО. Оригінальними рішеннями цієї роботи є процедура визначення кордонів зіниці ока та процедура виділення кордонів судин. Для розпізнавання використано два ДШП. Навчання та тестування таких НМ реалізовано на базі 990 зображень СО 99 людей, записаних у БД CASIA. Задекларована точність розпізнавання близько 94%.

У результаті проведеного дослідження було визначено множини базових параметрів, використання яких дозволяє в першому наближенні



оцінити ефективність засобів аналізу БП, асоційованих із зображенням ока людини. Короткий опис вказаних параметрів представлено в табл. 1.

Таблиця 1  
Параметри оцінки ефективності засобів розпізнавання особи

№	Опис параметру
Z <sub>1</sub>	Точність розпізнавання особи
Z <sub>2</sub>	Обчислювальна складність розпізнавання особи
Z <sub>3</sub>	Можливість визначення заданого переліку контрольних точок
Z <sub>4</sub>	Можливість скелетизації зображення
Z <sub>5</sub>	Можливість виділення кордонів ділянки аналізу
Z <sub>6</sub>	Стійкість до завад типу контактні лінзи та окуляри
Z <sub>7</sub>	Стійкість до завад, пов'язаних з віком та хворобами
Z <sub>8</sub>	Можливість аналізу монохромних зображень
Z <sub>9</sub>	Можливість аналізу напівтонових зображень
Z <sub>10</sub>	Можливість аналізу кольорових зображень
Z <sub>11</sub>	Можливість аналізу зображень, зареєстрованих з невисокою роздільною здатністю
Z <sub>12</sub>	Можливість розпізнавання особи на основі аналізу частини зображення

Надалі перелік параметрів, наведених у табл. 1, може бути уточнений і розширений. Наприклад, перелік може бути доповнений параметрами, що відображають ефективність НМ, які використовуються для аналізу. Також формування вказаного переліку дозволяє перейти до комплексної оцінки ефективності засобів аналізу БП, що в першому наближенні можна реалізувати за допомогою виразу виду:

$$\Psi = \sum_{i=1}^I \alpha_i Z_i,$$

де  $\Psi$  – функція ефективності засобів аналізу БП,  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го параметру ефективності,  $Z_i$  – значення  $i$ -го параметру ефективності.

Крім того, результати проведеного дослідження засобів розпізнавання особи за РО та СО свідчать про те, що вдосконалення таких засобів

можна досягти як за рахунок підвищення ефективності обробки первинно зареєстрованих ознак БП, так і за рахунок застосування найбільш досконалих нейромережових технологій. Оскільки джерелом інформації для аналізу таких БП є монохромні, напівтонові або кольорові зображення, то напрями подальших досліджень доцільно співвіднести з розробкою нейромережових технологій на основі ЗНМ, що останні декілька років вважаються найбільш ефективним засобом розпізнавання графічної інформації [7; 11; 12].

Формування переліку параметрів ефективності засобів аналізу РО та СО дозволяє окреслити напрям такого етапу досліджень – розробки методу адаптації зазначених засобів до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення. Також являє інтерес оцінка ефективності засобів аналізу РО та СО для вузькоспеціалізованих систем медичного призначення, в яких вказані засоби використовуються для іридодіагностики різноманітних захворювань.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень сформовано множину параметрів ефективності засобів розпізнавання особи людини за біометричними параметрами, що асоціюються із зображеннями її очей та підлягають реєстрації за допомогою поширеного апаратного забезпечення, що дозволяє оцінити відповідність зазначених засобів умовам поставленого завдання розпізнавання. Запропоновано вираз для комплексної оцінки ефективності засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока. Визначено, що напрями подальших досліджень полягають у розробці методу адаптації зазначених засобів до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення. Також визначено доцільність формування множини параметрів ефективності засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока, що призначені для вузькоспеціалізованих медичних систем.

#### Список літератури:

1. Терейковська Л.О. Аналіз засобів розпізнавання емоційного стану людини за голосом. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. № 1. Том 30 (69). С. 120–124.
2. Терейковская Л.А., Терейковский И.А. Применение сверточной нейронной сети для анализа биометрических параметров. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2020. № 5. Том 31 (70). С. 124–128.
3. Aim A., Bill F. Ocular circulation. *Adler's Physiology of the Eye/Ed by Moses and Hart*. 1987. No. 5. P. 183–203.
4. Al-Raisi A.N., Al-Khoury A.M. Iris recognition and challenge of homeland and border control security in UEA. *Telematics and Informatics*. 2008. No. 25. P. 117–132.
5. Bowyer K.W. Identity in the information society. *Telematics and Informatics*. 2009. No 2. P. 327–343.
6. Dua M., Gupta R., Khari M. Biometric iris recognition using radial basis function neural network. *Soft Comput*. 2019. No. 23. P. 11801–11815.

7. Dychka I., Chernyshev D., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Pogorelov V. Malware detection using artificial neural networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. No. 938. P. 3–12.
8. Hajaria K., Ujwalla G., Golharc Y. Neural network approach to iris recognition in noisy environment. *International Conference on Information Security & Privacy (ICISP2015)*. 2015. Vol. 78. P. 675–682.
9. Min B., Hyung G., Kang R. Noisy ocular recognition based on three convolutional neural networks. *Sensors*. 2017. No. 17. P. 1–26.
10. Miyazawa K. An effective approach for iris recognition using phase-based image matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2008. Vol. 30. P. 1741–1756.
11. Toliupa S., Tereikovska L., Tereikovskiy I., Doszhanova A. Procedure for adapting a neural network to eye iris recognition. *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology*. 2020. Vol. 1. P. 167–171.
12. Toliupa S., Tereikovskiy I., Dychka I., Tereikovska L. The method of using production rules in neural network recognition of emotions by facial geometry. *International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*. 2019. Vol. 1. P. 323–327.

**Tereikovskiy I.A., Kulakov Y.O., Tereikovska L.O., Tereikovskiy O.I. PARAMETERS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF PERSONALITY RECOGNIZATION BY THE IRIS AND THE RETINA OF THE EYE**

*The article is devoted to solving the problem of improving the means of biometric authentication of users of general purpose computer systems. The prospects of using tools based on the analysis of the iris and retina, i.e. biometric parameters associated with the image of the human eye are substantiated. According to the literature review, the limitations of modern approaches to the development of biometric authentication tools based on the iris and retina, which concerns the evaluation of the effectiveness of these tools, which complicates both outlining their application in different operating conditions and predicting areas for improvement. By analogy with the known solutions in the field of design of emotion recognition, it is possible to correct this shortcoming by developing a method to assess the effectiveness of analysis of biometric parameters associated with the human eye, and can be registered using common hardware. It is shown that the development of such a method leads to the need to form an appropriate set of parameters for evaluating efficiency. Based on the results of the analysis of known methods of analysis of the iris and retina, it is determined that in the first approximation it is advisable to correlate the parameters of efficiency assessment with accuracy and computational complexity of facial recognition, the ability to determine a set list, the ability to analyze monochrome, halftone and color images, as well as the ability to recognize the face based on the analysis of the image. The expediency of supplementing the formed set due to the parameters that reflect the effectiveness of neural network models used for analysis is shown. It is proposed to correlate the ways of further research with the development of a method of adaptation of the analysis of the iris and retina to the operating conditions in computer systems for various purposes and with the use of neural network technologies based on convolutional neural networks.*

**Key words:** iris, retina, biometric parameter, efficiency, facial recognition, recognition.