

УДК 004.8:007:681.7

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2025.47\(2\).177-188](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2025.47(2).177-188)

І. М. Лях¹, Ю. Ю. Млавець², М. В. Пономарьов³, А. Ю. Ціпіньо⁴

¹ ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,
професор кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін,
доктор технічних наук, професор
igor.lyah@uzhnu.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5417-9403>

² ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,
доцент кафедри кібернетики і прикладної математики,
кандидат фізико-математичних наук, доцент
yurii.mlavets@uzhnu.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-9017>

³ ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,
магістрант 1-ого курсу ОПП «Комп'ютерно-математичне моделювання»
ponomarov.mykhailo@student.uzhnu.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5064-9232>

⁴ ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,
магістрант 1-ого курсу ОПП «Управління ІТ проектами»
tsipino.artemii@student.uzhnu.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1704-2732>

AI-ОКУЛЯРИ ЯК ІНКЛЮЗИВНА ТЕХНОЛОГІЯ: ІІІ, РОЗПІЗНАВАННЯ, ПЕРЕКЛАД, ДОСТУПНІСТЬ

AI-окуляри є новим поколінням носимих технологій, що поєднують класичний дизайн із можливостями штучного інтелекту. На відміну від VR/AR-шоломів, вони зберігають компактність та зручність щоденного використання, виконуючи роль персонального асистента. Завдяки камерам, сенсорам та алгоритмам ІІІ AI-окуляри забезпечують розпізнавання об'єктів, переклад мовлення у реальному часі та надання контекстної інформації. Це робить їх перспективними не лише для повсякденного застосування, а й для інклюзивних рішень — підтримки людей із порушеннями зору чи слуху та створення доступних інтерфейсів для комунікації й навігації.

Актуальність дослідження визначається зростанням ринку носимих пристроїв, потребою в ергономічних технологіях та необхідністю оцінки ефективності інтегрованих ІІІ-моделей. Метою роботи є комплексна оцінка AI-окулярів у практичних сценаріях: медичній реабілітації, безпеці, освіті, туризмі та подоланні мовних бар'єрів. Для цього проаналізовано сучасні дослідження й розробки у сфері розпізнавання об'єктів, перекладу мовлення, енергоефективності та інтерфейсів, заснованих на погляді.

Особливу увагу приділено працям, що демонструють потенціал gaze-based interaction, інклюзивних систем навігації для людей із порушеннями зору, real-time перекладу мовлення та субтитрування, а також підходів до захисту приватності користувачів. У низці досліджень відзначено перспективність моделей YOLO v8s та TinyissimoYOLO, які забезпечують баланс між швидкістю, точністю та енергоефективністю. Також розглянуто практичні рішення провідних брендів (Ray-Ban Meta, Oakley Meta HSTN, Xiaomi AI Glasses), що ілюструють різні стратегії ринку: від компактності та дизайну — до автономності й адаптивних функцій.

Для кількісної оцінки запропоновано інтегральний коефіцієнт ефективності (ІКЕ), що враховує точність розпізнавання, час обробки, стабільність і задоволеність користувачів. На основі аналізу обчислено ІКЕ для окремих моделей, що дозволяє визначати їхню придатність у різних сценаріях — від медичної реабілітації до освітніх і туристичних застосувань.

Отримані результати свідчать про високу ефективність AI-окулярів як інклюзивної технології та перспективу їхнього поширення у сфері персональних асистентів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення приватності, підвищення автономності та розробку адаптивних алгоритмів, що здатні забезпечити стабільність і надійність роботи у динамічних умовах.

Ключові слова: AI-окуляри, штучний інтелект, носимі технології, розпізнавання об'єктів, інтегральний коефіцієнт ефективності.

1. Вступ. AI-окуляри є новим етапом розвитку носимих технологій, які поєднують класичний дизайн окулярів із можливостями штучного інтелекту. На відміну від VR- та AR-шоломів (Virtual Reality, Augmented Reality), вони зберігають компактність, орієнтовані на щоденне використання і виконують роль персонального асистента, забезпечуючи швидкий доступ до інформації та підтримку взаємодії з цифровим середовищем. Інтеграція камер, сенсорів та алгоритмів ШІ дозволяє AI-окулярам виконувати завдання розпізнавання об'єктів, перекладу мов у реальному часі та надання контекстної інформації користувачу.

Сучасні дослідження показують високий потенціал AI-окулярів для підтримки людей із порушеннями зору та слуху, забезпечуючи навігацію, переклад жестової мови та озвучування інформації, сприяючи інклюзії та підвищенню автономності користувачів. Крім того, AI-окуляри демонструють ефективність у сфері безпеки, правоохоронної діяльності, туризму та освіти, надаючи можливість оперативної обробки інформації, перекладу іноземних мов та створення персоналізованих AR-рішень.

Актуальність дослідження зумовлена швидким розвитком ринку носимих технологій, доступністю та ергономічністю AI-окулярів, а також необхідністю оцінки їх ефективності у практичних сценаріях. Вивчення ключових параметрів роботи ШІ-моделі, таких як: точність, швидкість, стабільність та задоволеність користувачів, дозволяє здійснити комплексну оцінку продуктивності пристрою. Це створює основу для подальшого вдосконалення AI-окулярів та розширення їх застосування у повсякденному житті, професійній діяльності та соціальній інтеграції.

2. Основний результат. Постановка завдання. Метою дослідження є оцінка ефективності роботи ШІ-моделі в AI-окулярах та визначення їх придатності для практичного застосування у різних сферах, таких як: медична реабілітація, забезпечення безпеки, подолання мовних бар'єрів, туризм та освіта. Для цього необхідно проаналізувати сучасні дослідження та публікації щодо AI-окулярів, зокрема щодо розпізнавання об'єктів, перекладу мовлення, інтерактивності на основі погляду та енергоефективності обчислень. Дослідження передбачає оцінку ключових параметрів ефективності ШІ-моделі, включно з точністю розпізнавання, швидкістю обробки даних, задоволеністю користувачів та стабільністю роботи пристрою. На основі отриманих даних здійснюється кількісна та якісна оцінка моделі для різних сценаріїв використання, що дозволяє визначити, у яких умовах AI-окуляри працюють ефективно, а де можливі обмеження. Очікуваним результатом є комплексна оцінка ефективності AI-окулярів та рекомендації щодо їх практичного застосування у різних сферах життя.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних дослідженнях, присвячених розумним окулярам із вбудованим ШІ, значну увагу приділяють інтеграції штучного інтелекту для обробки зображень, аудіо та взаємо-

дії користувача через погляд. У роботі Li Shi та ін. [1] проведено eye-tracking експеримент для аналізу того, як інтерактивність у III-системах впливає на поведінку користувачів. Результати показали, що можливість змінювати параметри прогнозів штучного інтелекту збільшує час взаємодії та концентрацію уваги користувачів, що підтверджує перспективність впровадження gaze-based interaction у носимі пристрої, зокрема у розумні окуляри.

У роботі Y. Rajesh та ін. [2] запропоновано модель AI-enhanced смарт-окулярів, орієнтованих на допомогу людям із вадами зору та глухонімих користувачів. Пристрій інтегрує камеру, мікрофон, акселерометр та алгоритми штучного інтелекту для ідентифікації об'єктів і перешкод, а також містить модуль синтезу мовлення для озвучування інформації. Таким чином, система забезпечує не лише навігацію в просторі, а й створює додаткові можливості для комунікації, що підкреслює значний потенціал смарт-окулярів як інклюзивної технології.

У роботі Jan Figura, Rafał Kuźmiczuk та Marcin Badurowicz [3] проведено аналіз систем розпізнавання об'єктів у контексті їх використання в окулярах доповненої реальності. Автори порівняли чотири сучасні моделі — Faster R-CNN ResNet-101 v1, YOLO v8s, SSD MobileNet v2 та EfficientDet Lite 2 — за параметрами точності, швидкості, енергоефективності та придатності для роботи у реальному часі. Результати показали, що моделі з одностадійною архітектурою (зокрема YOLO v8s) є найбільш оптимальними для безпосередньої інтеграції у смарт-окуляри, оскільки забезпечують баланс між продуктивністю та ресурсозатратами.

У дослідженні Julian Moosmann та ін. [4] було запропоновано спеціалізовану платформу для надзвичайно енергоефективного обчислення прямо «на пристрої». Використовуючи новий багатоядерний RISC-V процесор GAP9 та сімейство надлегких моделей TinyissimoYOLO, автори досягли роботи з продуктивністю до 18 FPS при споживанні лише 62.9 mW. Це забезпечує до 9 годин безперервної роботи від малої батареї, що є проривним результатом для носимих пристроїв. Таким чином, TinyissimoYOLO демонструє, що смарт-окуляри можуть одночасно бути високопродуктивними та автономними, відкриваючи шлях до масового використання.

У дослідженні Cristian Pamparău та Radu-Daniel Vatavu [5] представлено платформу FlexiSee, що розроблена для гнучкого налаштування та кастомізації функцій смарт-окулярів у контексті зорової реабілітації. Система дозволяє застосовувати різні візуальні фільтри (корекція кольору, підсвічування контурів, регулювання контрасту тощо), які можуть бути налаштовані дистанційно через веб-інтерфейс із будь-якого пристрою. Особливої уваги заслуговує введення концепції «vision monitors and assistants», тобто користувачів, які отримують можливість віддалено допомагати людям із порушеннями зору, контролюючи параметри візуальної реальності. У ході користувацького дослідження автори показали високу оцінку зручності (середній SUS score — 75,3) та корисності системи. Це дослідження підкреслює перспективність індивідуально налаштованих AR-рішень для підтримки людей із різними станами зору та в процесі реабілітації.

У дослідженні Advait Bal та ін. [6] розглядається розробка AR-окулярів для реального часу перекладу та субтитрування, орієнтованих на людей із вадами слуху та користувачів, що спілкуються різними мовами. Система поєднує то-

чне перетворення мови в текст, інтеграцію на дисплей окулярів та ефективний real-time переклад. Автори наголошують на важливості забезпечення безперешкодної комунікації для користувачів та підтримки культурного обміну, що робить технологію не лише інноваційною, а й соціально значущою. Результати підкреслюють перспективність інтеграції AI у носимі пристрої для покращення взаємодії та інклюзивності.

У роботі Ziyang Zhang та ін. [7] досліджуються аспекти конфіденційності при використанні Vision-Language Models (VLM) на смарт-окулярах. Автори аналізують 376 реальних взаємодій користувачів із VLM і виявляють часті випадки ненавмисного розкриття чутливої інформації (обличчя людей, місцезнаходження, контент екранів). Для захисту приватності запропоновано механізм автоматичного обрізання зображень за допомогою жестів рук, що дозволяє користувачам контролювати дані, які передаються VLM. Результати показали зменшення явних витоків приватних даних на 70,6% та прихованих на 47,6%, при збереженні якості роботи моделей. Попереднє дослідження користувачів підтвердило інтуїтивність та ефективність цього підходу. Це дослідження підкреслює важливість розробки privacy-friendly рішень для AI-окулярів.

4. Виклад основного матеріалу. AI-окуляри — це новий етап розвитку носимих технологій, які поєднують класичний дизайн окулярів із можливостями штучного інтелекту. Вони суттєво відрізняються від VR-шоломів, що занурюють користувача у віртуальну реальність, та AR-шоломів, які накладають цифрові елементи на фізичний світ. На відміну від них, AI-окуляри зберігають компактність і орієнтовані на щоденне використання у повсякденному житті. Якщо VR та AR найчастіше застосовуються для ігор, навчання чи професійної діяльності, то AI-окуляри позиціонуються як персональний асистент для швидкої та зручної взаємодії з інформаційним середовищем.

Як зазначають Aluri Anand Sai та Ravali Gunda у дослідженні, поєднання сенсорів, камер і алгоритмів ШІ дозволяє таким пристроям виконувати широкий спектр завдань: переклад мов у реальному часі, розпізнавання об'єктів, надання контекстної інформації користувачу [8]. Це робить їх універсальними та відмінними від вузькоспеціалізованих VR/AR-рішень.

Актуальність дослідження AI-окулярів зумовлена кількома чинниками:

- Швидке зростання ринку носимих технологій — AI-окуляри стають однією з найдинамічніших категорій.
- Інтеграція зі штучним інтелектом — обробка інформації відбувається в реальному часі, відкриваючи нові сценарії використання.
- Доступність та ергономічність — легкий дизайн робить їх придатними для щоденного використання, на відміну від громіздких VR/AR-шоломів.

Таким чином, AI-окуляри можна розглядати як логічний етап еволюції від VR/AR до компактних і зручних пристроїв нового покоління, які інтегрують у собі функції «розумного асистента» та змінюють підхід до взаємодії з цифровим середовищем. Сучасні AI-окуляри представлені на ринку кількома провідними брендами, серед яких виділяються Ray-Ban Meta, Oakley Meta HSTN та Xiaomi AI Glasses (дві модифікації). Порівняльні характеристики наведено у таблиці.

Ray-Ban Meta — найкраще підходять для щоденного використання завдяки компактності, класичному дизайну та прийнятній ціні. Недолік — відносно невеликий час роботи (4 години). Підтвердженням важливості автономності та

Таблиця 1.

Порівняльні технічні характеристики основних моделей AI-окулярів

Параметр	Ray-Ban Meta	Oakley Meta HSTN	Xiaomi AI Glasses (Std)	Xiaomi AI Glasses (Col/Mono)
Камера	12 МП, 1080p відео	12 МП, 3K відео	12 МП, 2K відео	12 МП, 2K відео
Процесор	Snapdragon AR1 Gen1	Snapdragon AR1 Gen1	Snapdragon AR1 + BES2700	Snapdragon AR1 + BES2700
Мікрофони	5-мікр. масив	5-мікр. масив	5 мікрофонів	5 мікрофонів
Динаміки	2 open-ear	2 open-ear	2 динаміки	2 динаміки
Акумулятор (один заряд)	~ 4 год	~ 8 год	~ 8.6 год	~ 8.6 год
Бат. кейс (додатково)	+32 год (зарядний кейс)	+48 год (зарядний кейс)	— USB-C заряджається	— USB-C заряджається
Вага	~ 48–50 г	~ 49 г	~ 40 г	~ 40 г
Зберігання	32 GB	32 GB	32 GB	32 GB
Лінзи	різні (поляр, Rx, прозорі)	Prizm Polarized	Electrochromic/колірні/прозорі	Electrochromic/колірні/прозорі

зручності для масових користувачів є дослідження Boyuan Wang та ін., що аналізує застосування AI-окулярів у повсякденному житті та цифровому здоров'ї, підкреслюючи потребу у балансі між функціональністю та часом автономної роботи [9].

Oakley Meta HSTN — орієнтовані на активний стиль життя: довший час автономної роботи (8 год + 48 год у кейсі) та покращене відео (3K). Головний недолік — висока ціна. Їхня спрямованість на спортивні та активні сценарії підкріплюється аналізом Gobinath Aroganam та ін., який демонструє роль сенсорів у споживчих спортивних пристроях та важливість точності показників і надійності батареї для користувачів з активним способом життя [10].

Xiaomi AI Glasses — роблять акцент на балансі: легші за конкурентів (~ 40 г), найдовший час автономної роботи (8.6 год), але не мають зарядного кейсу. Важлива перевага — електрохромні лінзи, що дозволяють адаптуватися до освітлення. Такі характеристики роблять ці окуляри універсальним рішенням, поєднуючи комфорт, автономність та адаптивні функції для різних умов використання.

Для кількісного оцінювання ефективності роботи ШІ-моделі в смарт-окулярах доцільно використовувати інтегральний коефіцієнт ефективності (ІКЕ), що враховує ключові параметри пристрою та моделі штучного інтелекту. Крім абсолютного значення ІКЕ, важливо забезпечити інтерпретацію результатів для практичного застосування.

Застосування такої шкали дозволяє здійснювати не лише порівняльний аналіз різних моделей AI-окулярів, а й оцінювати потенційні перспективи їх впровадження у практичні сценарії, включно з медичними, освітніми та туристичними застосуваннями. Наприклад, у нашому аналізі інтегральний коефіцієнт ефективності для Xiaomi AI Glasses склав $E_{AI} = 0.7875$, що відносить їх до категорії ефективно, підкреслюючи добрий баланс автономності, адаптивних

Таблиця 2.

Шкала інтегральної ефективності ІІІ-моделі АІ-окулярів

Діапазон E_{AI}	Рівень ефективності	Характеристика
0.0 – 0.2	Дуже неефективно	Модель демонструє низьку точність, значні затримки у обробці даних та не забезпечує належного функціонального результату
0.2 – 0.4	Слабо ефективно	Робота моделі відбувається з частими помилками або значними затримками, ресурсомісткість залишається високою
0.4 – 0.6	Помірно ефективно	Завдання виконуються з середньою точністю, час обробки прийнятний, ресурси використовуються раціонально
0.6 – 0.8	Ефективно	Висока точність та стабільність роботи, невеликі затримки, оптимальне використання обчислювальних ресурсів
0.8 – 1.0	Дуже ефективно	Модель демонструє майже ідеальну продуктивність, швидку обробку даних, високу надійність та мінімальне споживання ресурсів

функцій та швидкості обробки даних.

Для комплексної оцінки ефективності ІІІ-моделі в АІ-окулярах доцільно враховувати кілька ключових параметрів, що впливають на продуктивність та практичну користь пристрою. Серед них можна виділити:

- Точність розпізнавання об'єктів, тексту або обличчя (A) — показує, як часто модель правильно класифікує об'єкти або виконує переклад тексту;
- Час обробки / затримка (T) — відображає швидкість реакції системи у реальному часі, де менший час відповіді свідчить про вищу ефективність;
- Використання ресурсів (R) — характеризує енергоспоживання та навантаження на процесор і пам'ять, що критично для портативних пристроїв;
- Стабільність та надійність (S) — відображає частоту помилок, зависань або некоректної роботи моделі.

Інтегральна ефективність ІІІ-моделі E_{AI} може бути описана за формулою:

$$E_{AI} = \omega_A \cdot A + \omega_T \cdot T_{norm} + \omega_R \cdot R + \omega_S \cdot S, \quad (1)$$

де $\omega_A + \omega_T + \omega_R + \omega_S = 1$ — вагові коефіцієнти, що відображають значущість кожного параметра у конкретному сценарії використання, а A , T_{norm} , R , S — нормалізовані величини від 0 до 1.

Нормалізований час відгуку розраховується як:

$$T_{norm} = 1 - \frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}, \quad (2)$$

де T_{min} та T_{max} — мінімальний і максимальний час відгуку у розглянутому наборі сценаріїв. Таким чином, найменший час отримує значення 1, а найбільший — 0, а проміжні значення масштабуються лінійно.

Наприклад, якщо точність моделі становить 90% ($A = 0.9$), час обробки 0.5 секунди з максимально допустимих 1 сек ($T = 0.5$), середнє використання ресурсів ($R = 0.8$) та стабільність 95% ($S = 0.95$), інтегральна ефективність

моделі можна обчислити як зважену суму цих параметрів. Такий підхід дозволяє кількісно порівнювати різні моделі AI-окулярів та оцінювати їх придатність для різних сфер застосування, включно з медичною, освітньою, туристичною або професійною діяльністю.

Після визначення інтегрального коефіцієнта ефективності (ІКЕ) для порівняння технічних характеристик AI-окулярів доцільно розглянути й ефективність самих ШІ-моделей, що забезпечують функціональність цих пристроїв. Для цього можна ввести інтегральну оцінку ефективності ШІ-моделі E_{AI} , що відображає якість виконання основних завдань, таких як розпізнавання об'єктів, переклад мовлення або аналіз даних сенсорів. Значення цієї оцінки варіюється від 0 до 1, де 0 відповідає повній неефективності моделі, а 1 — максимальній продуктивності та надійності.

Для наочного представлення та узагальненого аналізу рівнів ефективності ШІ-моделі запропоновано шкалу, наведено у Таблиці 2. Вона дозволяє однозначно класифікувати роботу моделі від «дуже неефективної» до «дуже ефективної», враховуючи точність, швидкість обробки даних та оптимальність використання обчислювальних ресурсів.

У дослідженні Baig та ін. [11] було представлено комплексну оцінку системи AI-based Wearable Vision Assistance для людей із вадами зору. Автори протестували точність, швидкість, задоволення користувачів та надійність роботи пристрою в різних умовах. Зокрема, система продемонструвала високу точність розпізнавання об'єктів у хорошому освітленні (90%) та збереження працездатності навіть у слабкому світлі (80%). Час відгуку становив у середньому 1.5 секунди для режиму реального часу та 5.5 секунд для детальних запитів. Оцінка задоволення користувачів (SUS — System Usability Scale) сягнула 85/100, а понад 90% учасників заявили про готовність використовувати пристрій у повсякденному житті, що свідчить про високу зручність і прийнятність системи.

Важливим є також аспект стабільності: навіть за змінних умов освітлення пристрій демонстрував адекватну продуктивність, а у порівняльному аналізі показав кращу надійність та функціональність порівняно з аналогами. Таким чином, із цієї роботи було отримано всі необхідні дані для обчислення інтегральної оцінки ефективності за формулою (1) що робить її достатньою базою для розрахунків у даному дослідженні.

Таблиця 3.

Шкала інтегральної ефективності ШІ-моделі AI-окулярів

Параметр	Значення
A (Accuracy)	0.90 (good light), 0.80 (low light)
T (Response Time)	1.5 s (real-time), 5.5 s (detailed queries)
R (User Satisfaction)	SUS = 85/100; > 90% позитивних відгуків
S (Stability & Reliability)	Збереження роботи при різному освітленні; перевага над аналогами

Для базового оцінювання ефективності системи було запропоновано базовий набір вагових коефіцієнтів, які відображають важливість кожного параметра

у загальній інтегральній оцінці: точність (Accuracy), швидкодія (Response Time), задоволеність користувачів (User Satisfaction) та стабільність/надійність (Stability & Reliability). Вибрані ваги дозволяють збалансовано врахувати всі ключові аспекти роботи системи, не надаючи надмірного пріоритету жодному з них.

Для розрахунку за базовим профілем використано вагові коефіцієнти $\omega_A = 0.35$, $\omega_T = 0.25$, $\omega_R = 0.20$, $\omega_S = 0.20$. Нормалізований час відгуку обчислюється за формулою:

$$T_{norm} = 1 - \frac{T - 1.5}{5.5 - 1.5}, \quad (3)$$

де 1.5 с — мінімальний час (режим реального часу), а 5.5 с — максимальний (детальні запити).

Підставляючи значення з Таблиці 3 для хорошої освітленості та режиму реального часу ($A = 0.90$, $T_{norm} = 1.0$, $R = 0.85$, $S = 1.0$), отримуємо:

$$E_{AI} = 0.35 \cdot 0.9 + 0.25 \cdot 1 + 0.2 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 1 = 0.935.$$

Для режиму низької освітленості та детальних запитів ($A = 0.80$, $T_{norm} = 0.0$, $R = 0.85$, $S = 1.0$) інтегральна ефективність складає:

$$E_{AI} = 0.35 \cdot 0.8 + 0.25 \cdot 0 + 0.2 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 1 = 0.65.$$

Таким чином, інтегральна оцінка ефективності відображає зменшення результативності системи при збільшенні часу відгуку, одночасно враховуючи точність, задоволеність користувачів та стабільність її роботи.

АІ-окуляри сьогодні знаходять застосування у різних сферах життя, демонструючи універсальність і широкий спектр можливостей. У сфері медичної допомоги та реабілітації АІ-окуляри демонструють значний потенціал для полегшення повсякденного життя людей із порушеннями зору. Наприклад, система, представлена Satani та ін. [12], пропонує рішення для навігації та переміщення для користувачів із вадами зору. Пристрій обладнаний апаратними компонентами, такими як процесор Raspberry Pi, камера, акумулятор, окуляри та навушники, що дозволяє обробляти зображення безпосередньо на пристрої за допомогою глибинного навчання та моделей типу R-CNN. Виявлені об'єкти перетворюються на аудіосигнали, які подаються користувачу через навушники, забезпечуючи зручну та інтуїтивну взаємодію. Такий підхід демонструє практичну ефективність АІ-окулярів у підтримці автономності людей із порушеннями зору, а також відкриває перспективи для подальшого розвитку доступних та надійних assistive-технологій.

Крім користувачів із вадами зору, АІ-окуляри також можуть підтримувати людей із порушеннями слуху або глухонімих. Такі пристрої здатні відтворювати реальний світ у вигляді текстових субтитрів, перекладу мови жестів або синтезованого аудіо у реальному часі, полегшуючи комунікацію та інтеграцію у соціальні та професійні середовища. Технології, що поєднують комп'ютерний зір та обробку природної мови, дозволяють автоматично визначати мовні сигнали та конвертувати їх у зручну форму для сприйняття користувачем, тим самим підвищуючи незалежність та якість життя.

Одним із перспективних напрямів застосування АІ-окулярів є сфера безпеки та правоохоронної діяльності. Завдяки вбудованим камерам, мікрофонам і алгоритмам штучного інтелекту, такі пристрої можуть стати інструментом оперативної фіксації подій, розпізнавання облич та номерних знаків, а також аналізу поведінки підозрюваних у режимі реального часу. Це відкриває можливості для використання окулярів у патрулюванні, розслідуваннях та спеціальних операціях.

Проте науковці звертають увагу, що широке впровадження подібних технологій супроводжується суттєвими викликами у сфері конфіденційності та кібербезпеки. Так, у дослідженні *Opaschi та Vatavu* розглянуто практичні загрози, пов'язані з використанням окулярів із вбудованими відеокамерами. Автори показують, що навіть відносно дешеві моделі можуть створювати ризики порушення приватності як самого користувача, так і сторонніх осіб, потрапляючи під неконтрольований запис чи трансляцію. У статті продемонстровано проблеми із захистом даних, доступом до записів та можливістю несанкціонованого втручання, що ставить під сумнів надійність таких пристроїв у критично важливих сферах [13].

Таким чином, у правоохоронній діяльності АІ-окуляри мають подвійну природу: з одного боку, вони здатні значно підвищити ефективність і швидкість роботи завдяки миттєвому аналізу інформації, а з іншого — створюють нові вектори загроз, які потребують технічних рішень (захист каналів зв'язку, шифрування даних, обмеження доступу) та етичного регулювання.

Однією з найперспективніших сфер використання АІ-окулярів є подолання мовних бар'єрів. Туристичні поїздки та освітні процеси нерідко стикаються з проблемою нерозуміння іноземної мови, і саме тут на допомогу приходять технології штучного інтелекту. Дослідження *Zainab Rasheed та ін.* демонструє, що поєднання АІ та АR відкриває можливість для миттєвого перекладу та інтерпретації мовлення у режимі реального часу. Це означає, що користувач може спілкуватися у багатомовному середовищі без необхідності постійно звертатися до смартфона чи перекладача [14].

У сфері туризму це перетворює АІ-окуляри на персонального гίδα: вони можуть не лише відображати переклад під час розмови, а й накладати субтитри на дорожні знаки, меню чи інформаційні таблички. Відповідно, подорож стає комфортнішою та доступнішою навіть у країнах із зовсім іншою мовною культурою.

В освітньому процесі АІ-окуляри можуть стати інструментом інклюзії. Наприклад, студент, що слухає лекцію іноземною мовою, може бачити її текстовий переклад безпосередньо на лінзах. Це відкриває можливості для глобалізації освіти, міжнародних обмінів та дистанційного навчання. Водночас дослідження підкреслює, що для стабільної роботи потрібна якісна комунікаційна інфраструктура, адже миттєвий переклад вимагає швидкого з'єднання та ефективних алгоритмів обробки даних.

Таким чином, у туризмі та освіті АІ-окуляри виступають не лише як інноваційний гаджет, а як реальний інструмент для подолання бар'єрів між культурами та мовами, роблячи світ доступнішим для спілкування та навчання.

5. Висновки. Проведене дослідження дозволило здійснити комплексну оцінку ефективності AI-окулярів як нового покоління носимих технологій, що інтегрують можливості штучного інтелекту у компактний і зручний формат. На основі аналізу сучасних досліджень, технічних характеристик провідних моделей та практичних сценаріїв застосування встановлено, що:

1. AI-окуляри забезпечують функціональність персонального асистента, поєднуючи переклад мовлення у реальному часі, розпізнавання об'єктів, надання контекстної інформації та інклюзивні можливості для людей із порушеннями зору чи слуху.
2. Сучасні моделі (Ray-Ban Meta, Oakley Meta HSTN, Xiaomi AI Glasses) демонструють різні стратегії розвитку — від компактності та ергономіки до високої автономності й адаптивності. Це підтверджує тенденцію до сегментації ринку залежно від потреб користувачів.
3. Інтегральний коефіцієнт ефективності (ІКЕ) є доцільним інструментом для кількісної оцінки роботи ШІ-моделей в AI-окулярах. Він враховує точність, швидкодію, використання ресурсів та стабільність, що дозволяє об'єктивно визначати придатність пристроїв до конкретних сценаріїв застосування.
4. Практичні дослідження підтверджують значущість інновацій у сферах енергоефективності (TinyissimoYOLO), інклюзивності (FlexiSee, AI-enhanced smart glasses), приватності (Vision-Language Models із механізмами захисту даних) та соціальної інтеграції (системи перекладу та субтитрування).
5. Використання AI-окулярів у медицині, освіті, туризмі та безпеці має високий потенціал, що вже підтверджено як експериментальними результатами, так і позитивними відгуками користувачів у пілотних тестах.

Таким чином, AI-окуляри можна вважати перспективним етапом розвитку носимих технологій, здатним суттєво розширити можливості взаємодії людини з цифровим середовищем. Подальші дослідження мають бути зосереджені на розробці більш енергоефективних та приватність-орієнтованих рішень, а також на створенні адаптивних алгоритмів, що забезпечать високу точність і стабільність роботи в різних умовах.

Список використаної літератури

1. Shi, L., Bhattacharya, N., Das, A., Lease, M., & Gwizdka, J. (March, 2022). The effects of interactive ai design on user behavior: An eye-tracking study of fact-checking covid-19 claims. In *Proceedings of the 2022 Conference on Human Information Interaction and Retrieval*, 315–320.
2. Rajesh, Y., Bhaskar, K., Dinakar, K. A., Devi, T. K., & Priyanga, M. (08 February, 2025). AI Enhanced Arduino Based Customized Smart Glasses for Blind People Integrated with Speech Synthesis. In: Pareek, P., Mishra, S., Reis, M. J. C. S., & Gupta, N. (eds) *Cognitive Computing and Cyber Physical Systems. IC4S 2024. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Springer: Cham. 598, 317–331. https://doi.org/10.1007/978-3-031-77078-4_25
3. Figura, J., Kuźmiczuk, R., & Badurowicz, M. (2025). Analysis of object recognition systems using augmented reality glasses. *Journal of Computer Sciences Institute*, 34, 8–13. <https://doi.org/10.35784/jcsi.6469>
4. Moosmann, J., Bonazzi, P., Li, Y., Bian, S., Mayer, P., Benini, L., & Magno, M. (12 May, 2025). Ultra-efficient on-device object detection on ai-integrated smart glasses with tinyissimoyolo. In *European Conference on Computer Vision*, 15645, 262–280. https://doi.org/10.1007/978-3-031-91989-3_17

5. Pamparău, C., & Vatavu, R. D. (2021). FlexiSee: flexible configuration, customization, and control of mediated and augmented vision for users of smart eyewear devices. *Multimedia Tools and Applications*, 80(20), 30943–30968. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10164-5>
6. Bal, A., Anjana, P., Devi, K. G., Upot, V. S., Abhishek, S., & Anjali, T. (31 October, 2024). AR Glasses for Real-Time Translation and Subtitling. In *International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems*. Springer Nature: Singapore. 279–288. https://doi.org/10.1007/978-981-97-6678-9_25
7. Zhang, Z., Bao, C., Pan, X., Chang, C. M., Igarashi, T., & Zhang, G. (April, 2025). Through the Lens of Privacy: Exploring Privacy Protection in Vision-Language Model Interactions on Smart Glasses. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. (530), 1–8. <https://doi.org/10.1145/3706599.3720234>
8. Sai, A. A., & Gunda, R. (2024). AI-Enabled Glasses. In *Handbook of Artificial Intelligence and Wearables*, 261–272.
9. Wang, B., Zheng, Y., Han, X., Kong, L., Xiao, G., Xiao, Z., & Chen, S. (2025). A systematic literature review on integrating AI-powered smart glasses into digital health management for proactive healthcare solutions. *npj Digital Medicine*, 8(1), 410. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01715-x>
10. Aroganam, G., Manivannan, N., & Harrison, D. (2019). Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19(9), 1983. <https://doi.org/10.3390/s19091983>
11. Baig, M. S. A., Gillani, S. A., Shah, S. M., Aljawarneh, M., Khan, A. A., & Siddiqui, M. H. (2024). AI-based wearable vision assistance system for the visually impaired: Integrating real-time object recognition and contextual understanding using large vision-language models. *Preprint arXiv: 2412.20059*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.20059>
12. Satani, N., Patel, S., & Patel, S. (2020). AI powered glasses for visually impaired person. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 9(2), 416–421. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B3565.079220>
13. Opaschi, O., & Vatavu, R. D. (2020). Uncovering practical security and privacy threats for connected glasses with embedded video cameras. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4(4), 1–26. <https://doi.org/10.1145/3432700>
14. Rasheed, Z., Ghwanmeh, S., & Almahadin, A. (03–05 June, 2024). A Critical Review of AI-Driven AR Glasses for Realtime Multilingual Communication. In *2024 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. IEEE. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ASET60340.2024.10708749>

Liakh I. M., Mlavets Yu. Yu., Ponomarov M. V., Tsipino A. Yu. AI Glasses as inclusive technology: AI, Recognition, Translation, Accessibility.

AI glasses are a new generation of wearable technology that combines classic design with artificial intelligence abilities. In contrast to VR/AR headsets, they remain compact and convenient for everyday use, acting as a personal assistant. Thanks to cameras, sensors, and AI algorithms, AI glasses provide object recognition, real-time speech translation, and contextual information. This makes them promising not only for everyday use, but also for inclusive solutions – supporting people with visual or hearing impairments and creating accessible interfaces for communication and navigation.

The relevance of the study is determined by the growth of the wearable device market, the need for ergonomic technologies, and the necessity to evaluate the effectiveness of integrated AI models. The aim of the work is to comprehensively evaluate AI glasses in practical scenarios: medical rehabilitation, security, education, tourism, and overcoming language barriers. In order to do this, current research and developments in the field of object recognition, speech translation, energy efficiency, and gaze-based interfaces were analysed.

Particular attention is paid to works demonstrating the potential of gaze-based interaction, inclusive navigation systems for people with visual impairments, real-time speech translation and subtitling, as well as approaches to protecting user privacy. A number of studies have noted the prospects of the YOLO v8s and TinyissimoYOLO models, which

provide a balance between speed, accuracy, and energy efficiency. Practical solutions from leading brands (Ray-Ban Meta, Oakley Meta HSTN, Xiaomi AI Glasses) are also reviewed, illustrating various market strategies: from compactness and design to autonomy and adaptive features.

For quantitative assessment, an integral efficiency coefficient (IEC) is proposed, which takes into account recognition accuracy, processing time, stability, and user satisfaction. Based on the analysis, the ICE has been calculated for individual models, allowing their suitability to be determined in various scenarios, from medical rehabilitation to educational and tourism applications.

The results obtained demonstrate the high effectiveness of AI glasses as an inclusive technology and the prospect of their widespread use in the field of personal assistants. Further research should be aimed at improving privacy, increasing autonomy, and developing adaptive algorithms capable of ensuring stability and reliability in dynamic conditions.

Keywords: AI glasses, artificial intelligence, wearable technologies, object recognition, integral efficiency coefficient.

Одержано 15.09.2025