

УДК 004.8:37.091.3

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2025-1-14>

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В STEM-ПРОЄКТАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ

Садовий Микола Ілліч,

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри математики та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0001-6582-6506
Scopus-Author ID: 57217117696
Researcher ID: AAG-3432-2019

Соменко Дмитро Вікторович,

кандидат педагогічних наук,
старший викладач кафедри математики та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0001-6426-1507
Scopus-Author ID: 57212457995
Researcher ID: HPD-5262-2023

Трифонов Олена Михайлівна,

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри математики та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0002-6146-9844
Scopus-Author ID: 57217117658
Researcher ID: AAJ-9881-2020

Косицький Станіслав Ігоревич,

здобувач освіти другого (магістерського)
рівня вищої освіти спеціальності
015 Професійна освіта (за спеціалізаціями),
спеціалізація: 015.39 Цифрові технології
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0008-1563-9743

У сучасних умовах розвитку цифрового суспільства ключову роль у підготовці здобувачів освіти відіграє формування цифрової компетентності. Одним із перспективних напрямів її розвитку є використання технологій комп'ютерного зору. У цій статті розглядається практичний аспект застосування комп'ютерного зору на прикладі розробки та програмування вентилятора із самонаведенням на основі мікроконтролера ESP32CAM, що є одним із прикладів інтеграції інтелектуальних систем в освітній процес.

Стаття аналізує теоретичні та практичні аспекти створення автоматизованих систем управління, які використовують методи розпізнавання об'єктів й облич за допомогою комп'ютерного зору. Розглядається апаратне забезпечення, включно з мікроконтролером ESP32CAM, серводвигунами, системою кріплення та елементами живлення. Описуються особливості програмного забезпечення, зокрема алгоритми обробки зображень, використання бібліотек машинного навчання та методи оптимізації процесу розпізнавання.

Особливу увагу приділено питанням інтеграції таких технологій у систему освіти. У статті пропонуються шляхи впровадження навчальних проєктів на основі комп'ютерного зору в шкільну, професійну та

вищу освіту. Наведено приклади застосування проєкту в межах STEM-освіти, курсів з програмування та робототехніки, вивчення вбудованих систем та інтернету речей (IoT). Акцентується увага на міждисциплінарному підході.

Крім того, у статті розглядається можливість використання таких проєктів у наукових дослідженнях, проведенні хакатонів і практичних занять у лабораторіях технічних університетів. Обговорюються перспективи вдосконалення алгоритмів комп'ютерного зору для підвищення точності розпізнавання об'єктів, використання глибоких нейронних мереж та розширення функціональності пристрою шляхом під'єднання до хмарних сервісів для обробки даних у реальному часі.

Ключові слова: цифрова компетентність, комп'ютерний зір, автоматизовані системи управління, освітній процес, STEM-освіта, професійна підготовка, штучний інтелект, освітня робототехніка, навчальний проєкт.

Sadovyi Mykola, Somenko Dmytro, Tryfonova Olena, Kosytskyi Stanislav. Methodology for teaching computer vision technologies in STEM-projects using hardware computing platforms

In modern digital society, the development of digital competence plays a crucial role in preparing learners. One of the promising areas of its development is the use of computer vision technologies. This article explores the practical aspects of using computer vision through the development and programming of a self-guiding fan based on the ESP32CAM microcontroller, demonstrating an example of integrating intelligent systems into the educational process.

The article analyzes the theoretical and practical aspects of creating automated control systems that utilize object and facial recognition methods via computer vision. The hardware components are examined, including the ESP32CAM microcontroller, servo motors, mounting systems, and power supply elements. Additionally, the software aspects are described, particularly image processing algorithms, the use of machine learning libraries, and optimization methods for improving recognition processes.

Special attention is given to the integration of such technologies into the education system. The article suggests ways to incorporate computer vision-based educational projects into school, vocational, and higher education curricula. Examples are provided of how this project can be utilized within STEM education, programming and robotics courses, embedded systems studies, and the Internet of Things (IoT). Emphasis is placed on an interdisciplinary approach.

Moreover, the article discusses the potential applications of such projects in scientific research, hackathons, and practical laboratory sessions in technical universities. The paper explores ways to improve computer vision algorithms to enhance object recognition accuracy, the use of deep neural networks, and the expansion of device functionality through cloud service integration for real-time data processing.

Key words: digital competence, computer vision, automated control systems, educational process, STEM education, vocational training, artificial intelligence, educational robotics, educational project.

Вступ. Сучасний світ існує в умовах стрімкого технологічного розвитку. Зміна поколінь технік і технологій відбувається надшвидкими темпами [7]. Освіта, яка повинна мати випереджальний характер, має відповідати запитам суспільства щодо підготовки конкурентоспроможних фахівців нової генерації.

Перспективним освітнім підходом підготовки фахівців із широким спектром трендових навичок у багатьох країнах світу стала STEM/STEAM-освіта [1]. Дослідження Н. Поліхун, К. Постова, Г. Онопченко, О. Онопченко, І. Шевченко [1, с. 4] свідчать, що STEM-освіта має свої переваги та є ефективною для розвитку й набуття перспективних компетентностей для майбутньої реалізації в цифровому, високотехнологічному суспільстві. Її впровадження пов'язано з практикоспрямованістю, що реалізується через дослідження, проєктну діяльність, з використанням штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності, 3D-друку, робототехніки та інших інструментів для створення інтерактивного й захопливого освітнього середовища, а також із залученням експертів із реального сектору до формування початкових професійних навичок та актуальних знань, що є необхідними на ринку праці.

Концепція стратегії повоєнного відновлення та розвитку України [4] однією із секторальних цілей убачає реалізацію людського капіталу, який пройшов повноцінне навчання та перспективну професійну підготовку. При цьому однією з таких цілей відбудови та розвитку сучасного

підприємництва є впровадження цифрових технологій (ЦТ). За цих умов на перший план виходить проблема формування та розвитку в здобувачів освіти цифрової компетентності.

Цифрова компетентність (ЦК) є ключовим фактором успішної адаптації майбутніх фахівців до викликів сучасного ринку праці [10], оскільки містить не лише вміння використовувати ЦТ, а й здатність критично оцінювати інформацію, забезпечувати кібербезпеку, автоматизувати процеси та впроваджувати інноваційні рішення. В умовах швидкої цифрової трансформації особливої уваги набуває застосування технологій комп'ютерного зору (КЗ), які допомагають автоматизувати управління, підвищити ефективність виробництва та оптимізувати бізнес-процеси. Інтеграція таких технологій у систему освіти сприяє формуванню навичок роботи з великими масивами даних, аналізу візуальної інформації та програмування штучного інтелекту. Це не лише забезпечує конкурентоспроможність випускників, а й створює передумови для інноваційного розвитку економіки й підприємництва, що ґрунтується на ЦТ. Так, формування ЦК через використання технологій КЗ є необхідною умовою підготовки сучасних фахівців, здатних ефективно працювати в умовах автоматизованих систем управління та сприяти розвитку цифрової економіки.

Мета статті – дослідити можливості розвитку ЦК здобувачів освіти через упровадження технологій КЗ в автоматизованих системах управління, визначити ефективні методи навчання, що сприяють формуванню практичних навичок роботи з інтелектуальними цифровими інструментами, а також проаналізувати перспективи використання цих технологій у професійній підготовці фахівців.

Аналіз досліджень і публікацій. Ґрунтовні дослідження проблеми розвитку ЦК відображені в працях О. Гриценчук, А. Гуржій, І. Іванюк, О. Кравчина, І. Малицька, О. Овчарук, Н. Поліхун, А. Прокопенко, І. Сліпухіна, Н. Сороко, О. Трифонові, І. Чернецький та ін. [6; 8; 10].

У своєму дослідженні І. Сліпухіна [8], Н. Поліхун [8], І. Чернецький [8] стверджують, що в сучасному суспільстві найдорожчим товаром є інформація, тому опанування інформаційних технологій здобувачами освіти є такою ж необхідністю, як і будь-які життєві навички. Сьогодні здобувачі освіти є активними суб'єктами цифрового середовища. Вони здійснюють віртуальну комунікацію, а їх соціалізація відбувається здебільшого в зручному віртуально-реальному середовищі.

Усе це вимагає розробки та впровадження нових технологій, що забезпечують функціонування цифрового середовища, можливість здійснення комунікації в ньому. Для цього ми пропонуємо навчати здобувачів освіти створювати модель застосування технологій комп'ютерного зору.

Питанням розробки та використання технологій комп'ютерного зору на різних етапах розвитку технологій займалися О. Євсеєнко [2], А. Гапон [2], В. Кромкач [5], В. Крилова [2], Р. Лоуренс [11] та ін.

Матеріали та методи. У дослідженні використано комплекс взаємопов'язаних методів, які забезпечують усебічний аналіз проблеми зокрема, застосовано теоретичні методи, як-от аналіз, узагальнення та систематизація наукових джерел з питань ЦК, КЗ й автоматизованих систем управління. Також використано метод моделювання для проектування та створення моделі застосування технологій КЗ.

Результати. Комп'ютерний зір [3], як підгалузь штучного інтелекту, дає змогу комп'ютерам аналізувати, розпізнавати та інтерпретувати зображення або відео, що надає широкі можливості для автоматизації та інтелектуального управління різними процесами. У сучасній освіті впровадження таких технологій сприяє не лише розвитку технічних навичок у здобувачів освіти, а й формуванню творчого мислення, розуміння принципів програмування, алгоритмізації та інтеграції електронних пристроїв.

Одним із прикладів практичного застосування КЗ є автоматизовані системи управління, як-от розумні кліматичні пристрої. У цьому контексті запропонований нами проєкт вентилятора з елементами КЗ на базі ESP32CAM є не лише інженерним проєктом, а й ефективним освітнім засобом для навчання учнів і студентів основ програмування, електроніки та роботи зі штучним інтелектом [9]. Використання таких проєктів у навчальних курсах дає змогу здобувачам освіти здобути практичні знання з робототехніки, КЗ, розпізнавання образів та автоматизованого управління пристроями.

Дослідження зумовлене необхідністю адаптувати освітній процес до вимог цифрового суспільства, де важливими навичками є програмування, обробка даних, робота з нейронними мережами та автоматизація процесів. Інтеграція навчальних STEM-проєктів, що базуються на технологіях КЗ, дає змогу не лише підвищити рівень ЦК, а й розвинути міждисциплінарні навички – від математики та фізики до інформаційних технологій та інженерії.

Нами розглянуто один із практичних способів розвитку ЦК здобувачів освіти – створення автоматизованої системи управління вентилятором, що сам наводиться на ціль із використанням технологій КЗ. Основна увага приділяється аналізу апаратного та програмного забезпечення, алгоритмам роботи системи й освітнім можливостям.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати роль цифрової компетентності в сучасній освіті та її значення для підготовки майбутніх фахівців.
2. Визначити основні принципи роботи технологій комп'ютерного зору з використанням апаратно-обчислювальних платформ.
3. Дослідити апаратну та програмну реалізацію вентилятора на базі ESP32CAM.
4. Оцінити можливості інтеграції таких STEM-проєктів у навчальні дисципліни з програмування, робототехніки та цифрових технологій.
5. Запропонувати вдосконалення освітнього процесу через використання практичних завдань із застосуванням технологій комп'ютерного зору.

Пропонується комплексний аналіз можливостей використання технологій КЗ для розвитку ЦК здобувачів освіти через інтеграцію практичних проєктів, зокрема розробку пристроїв з КЗ. Дослідження містить опис апаратної та програмної реалізації системи, що може слугувати основою для розробки навчальних курсів і лабораторних робіт.

Технології КЗ та автоматизації активно використовують у сучасних побутових та промислових пристроях. Одним із перспективних напрямів є інтелектуальні системи керування кліматичними пристроями, зокрема вентиляторами. Традиційні вентилятори працюють у статичних режимах, що не завжди ефективно з боку енергоспоживання та комфорту користувача.

Вентилятор, який автоматично орієнтується на обличчя людини та коригує напрям повітряного потоку, дає змогу підвищити ефективність охолодження та зменшити зайве енергоспоживання. Основою пристрою є ESP32CAM – мікроконтролер із вбудованою камерою, що використовується для розпізнавання обличчя. Конструкція вентилятора передбачає гнучке кріплення, що дає змогу змінювати його кут нахилу в горизонтальній площині (до 160 градусів).

ESP32CAM є потужним мікроконтролером, що поєднує обчислювальні можливості з модулем Wi-Fi та вбудованою камерою. У цьому проєкті він виконує такі завдання: 1) зчитування відеопотоку з камери; 2) обробка зображення та виявлення обличчя за допомогою алгоритмів КЗ; 3) передавання даних про положення обличчя до модуля керування сервоприводами.

Реалізація алгоритму виявлення обличчя здійснюється за допомогою бібліотеки **OpenCV** та нейронних мереж (Haar Cascade або MobileNet SSD).

Алгоритм управління вентилятором містить низку етапів (рис. 2).

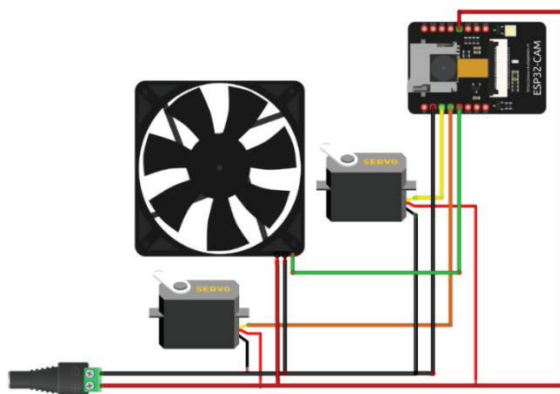


Рис. 1. Схема під'єднання компонентів проєкту «Вентилятор із самонаведенням» на базі мікроконтролера з убудованою камерою ESP32CAM

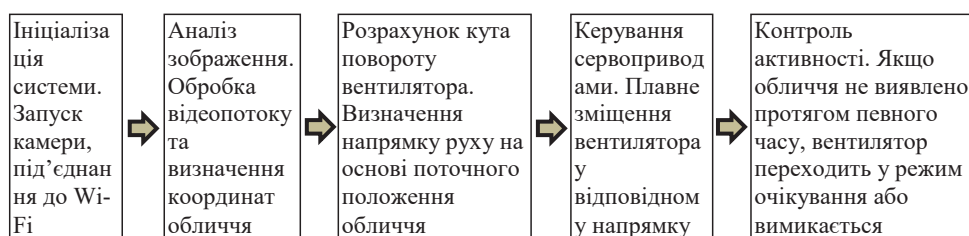


Рис. 2. Етапи алгоритму управління вентилятором

Програмний код для керування системою може бути реалізований мовою MicroPython або C++ (Arduino IDE).

Однією з проблем є неточність виявлення обличчя, особливо за низького освітлення або частково затулювання обличчя. Оптимізація алгоритмів містить:

- використання фільтрації шуму та попередньої обробки зображень;
- використання каскадних нейронних мереж для точнішого розпізнавання;
- додавання механізмів згладжування руху для запобігання надмірної чутливості до дрібних переміщень користувача.

Тестування вентилятора із системою самонаведення проводилося в умовах стандартного освітлення. Основні результати:

- вентилятор точно стежить за обличчям у межах 160 градусів;
- система стабільно працює навіть за часткового затулювання обличчя;
- автоматичне вимкнення реалізовано коректно, якщо користувач покидає зону видимості.

Проте є деякі обмеження, зокрема: час реакції системи може коливатися залежно від обчислювальних можливостей ESP32CAM; в умовах слабкого освітлення розпізнавання обличчя працює менш стабільно.

Вентилятор на базі ESP32CAM є ефективним рішенням для автоматичного контролю повітряного потоку, що значно покращує комфорт користувача. Використання КЗ дає змогу реалізувати інтелектуальне управління без потреби в додаткових сенсорах.

Цей проєкт може бути використаний в освітньому процесі для здобувачів освіти різного рівня – від середньої школи до закладів вищої освіти.

Його можна адаптувати під різні освітні дисципліни та курси:

Загальноосвітня школа (STEM-освіта).

Фізика та електроніка. Учні можуть досліджувати принципи роботи електричних кіл, основи механіки та електромагнетизму через практичне складання пристрою.

Інформатика та програмування. Реалізація алгоритмів КЗ на базі ESP32CAM допоможе учням опанувати основи мов програмування (Python, C++ для Arduino IDE) та алгоритмізації.

Технології та робототехніка. Здобувачі освіти навчаються працювати із сервоприводами, датчиками та мікроконтролерами, що сприятиме розвитку інженерного мислення.

STEM-проекти. Інтеграція проекту в шкільні конкурси та гуртки допоможе розвивати командну роботу й практичні навички створення реальних пристроїв.

Професійна та професійно-технічна освіта.

Автоматизація та робототехніка. Використання проекту в навчальних курсах, пов'язаних із промисловою автоматизацією, дасть змогу здобувачам освіти вивчати принципи управління сервоприводами та обробки зображень.

Програмування вбудованих систем. Здобувачі освіти зможуть навчитися працювати з мікроконтролерами, реалізовувати алгоритми обробки зображень та взаємодії електронних компонентів.

Інтернет речей (IoT). Інтеграція Wi-Fi-модуля в проект допоможе здобувачам освіти розробляти розумні системи, якими можна дистанційно керувати через інтернет.

Енергозбереження та екологія. Автоматизовані кліматичні системи допомагають оптимізувати енергоспоживання, що є важливим складником навчальних курсів із зеленої енергетики.

Вища освіта (інженерні та IT-спеціальності).

Штучний інтелект і КЗ. Дослідження методів розпізнавання образів, використання нейронних мереж, оптимізація алгоритмів КЗ.

Кіберфізичні системи та робототехніка. Інтеграція проекту в лабораторні роботи з робототехніки дасть змогу студентам на практиці вивчати принципи створення автономних систем.

Програмування вбудованих систем та IoT. Розробка інтелектуальних пристроїв, під'єднаних до мережі, з можливістю обробляти дані в реальному часі.

Мехатроніка та автоматизація. Створення автономних систем управління кліматом на основі сучасних датчиків та виконавчих механізмів.

Неформальна освіта та наукові дослідження.

Гуртки та секції для школярів і студентів. Організація хакатонів, конкурсів із робототехніки та машинного навчання на основі цього проекту.

Наукові дослідження. Оптимізація алгоритмів розпізнавання облич, удосконалення механічної конструкції, розширення можливостей системи через використання глибоких нейронних мереж.

Проекти з інклюзивної освіти. Розробка адаптивних кліматичних систем для людей з інвалідністю, які можуть автоматично реагувати на присутність людини.

Упровадження зазначеного проекту в освітній процес сприятиме збільшенню зацікавленості учнів та студентів у STEM-дисциплінах через реальні практичні завдання; розвитку міждисциплінарних навичок, зокрема у сферах електроніки, програмування, фізики та інженерії; підготовці здобувачів освіти до реальних викликів цифрової економіки через застосування технологій Інтернету речей, машинного навчання та автоматизації; формуванню навичок командної роботи, адже реалізація проекту передбачає взаємодію між учасниками.

Так, представлений проект є не лише інженерною розробкою, а й потужним інструментом для навчання та розвитку ЦК здобувачів освіти. Інтеграція таких рішень у навчальні програми дасть змогу виховувати нове покоління фахівців, здатних ефективно використовувати сучасні

технології, мислити критично та створювати інноваційні рішення для автоматизації і цифровізації різних сфер життя.

Висновки. Проведене дослідження не лише дає змогу розвинути в здобувачів освіти необхідні навички роботи із сучасними ЦТ, а й сприяє розвитку їхньої здатності критично мислити, аналізувати великі обсяги даних й ухвалювати обґрунтовані рішення в реальному часі. Використання технологій КЗ із застосуванням апаратно-обчислювальних платформ дає змогу не лише вдосконалювати технічні компетентності, а й розвивати здатність до міждисциплінарної взаємодії у STEM-проектах, адже такі технології поєднують знання з інформатики, математики, фізики, інженерії та інших наук.

Крім того, навчання моделювання застосування КЗ допоможе здобувачам освіти краще розуміти принципи роботи штучного інтелекту, алгоритмів машинного навчання та їх використання в різних галузях, зокрема освіті, медицині, промисловості, транспорті та безпеці. Важливим аспектом є також формування у майбутніх фахівців навичок етичного використання ЦТ, оскільки автоматизовані системи управління часто працюють із великими масивами персональних даних і їх захист має бути одним із пріоритетів. Застосування таких моделей в освітньому процесі сприятиме підготовці здобувачів освіти до викликів цифрової трансформації, допоможе їм стати не лише користувачами, а й активними розробниками технологічних рішень, що відповідають сучасним вимогам цифрового суспільства. У перспективі це сприятиме створенню ефективного освітнього середовища, у якому кожен здобувач освіти зможе не лише розширити свої компетентності, а й реалізувати власний потенціал у сфері цифрових технологій.

Література:

1. STEM/STEAM-освіта: від теорії до практики: метод. посібн. / Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко, І. М. Шевченко. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2023. 121 с.
2. Євсеєнко О. М., Гапон А. І., Крилова В. А. Розробка автоматизованої системи розпізнавання показань приладів за допомогою камери машинного зору. Технічна інженерія. 2022. № 1 (89). URL: <https://shorturl.cusu.edu.ua/10l>
3. Комп'ютерний зір – це майбутнє автоматизації тестування програмного забезпечення – історія минулого, сьогодення та майбутнього. URL: <https://shorturl.cusu.edu.ua/v3>
4. Концепція стратегії повоєнного відновлення та розвитку України. Національний ін-т стратегічних досліджень. URL: <https://shorturl.cusu.edu.ua/un>
5. Кромкач В. Роль комп'ютерного зору в сучасному світі: досягнення, виклики та перспективи. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2024. Т. 2. С. 79–87.
6. Прокопенко А. А. Розвиток цифрової компетентності офіцерів військового управління збройних сил України в системі підвищення кваліфікації : дис. д-ра філософії: 011 / Ін-т цифровізації НАПНУ. Київ, 2024. 331 с.
7. Садовий М. І., Трифонова О. М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття: навч. Кіровоград : Авангард, 2013. 436 с.
8. Сліпучіна І. А., Поліхун Н. І., Чернецький І. С. Педагогіка ХХІ століття: формування цифрової дидактики. *Зб.пр. Педагогічні науки*. Херсон. Вип. LXXXIII. Т. 1. 2018. С. 231–237. URL: http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/eng/file/issue_83/part_1/45.pdf
9. Соменко Д. В., Трифонова О. М., Садовий М. І. Штучний інтелект та нейромережі в освітньому процесі: переваги та недоліки. *Актуальні проблеми та перспективи технологічної і професійної освіти*: матер. VII Всеукр. науково-практ. Інтернет-конф., м. Тернопіль, 20–21.04.2023. Тернопіль, 2023. С. 78–81.
10. Трифонова О. М. Методична система розвитку інформаційно-цифрової компетентності майбутніх фахівців комп'ютерних технологій у навчанні фізики і технічних дисциплін : дис. д-ра пед. наук : 13.00.02, 13.00.04 / ЦДПУ ім. В. Винниченка. Кропивницький, 2020. 595 с.
11. Lawrence R.G. Machine perception of three-dimensional solids: Description (Ph.D.) / Massachusetts Institute of Technology. 1963. 82 p. URL: <https://shorturl.cusu.edu.ua/10m>

References:

1. Polikhun, N.I., Postova, K.H., Onopchenko, H.V., Onopchenko, O.V., & Shevchenko, I.M. (2023). *STEM/STEAM-osvita: vid teorii do praktyky* [STEM/STEAM education: from theory to practice]. Kyiv. 121 s. [in Ukrainian].
2. Yevseyenko, O.M., Hapon, A.I., & Krylova, V.A. (2022) Rozrobka avtomatyzovanoyi systemy rozpiznavannya pokazan' pryladiv za dopomohoyu kamery mashynnoho zoru [Development of an automated system for recognizing device readings using a machine vision camera]. *Tekhnichna inzheneriya*. 1(89). Retrieved from: <https://shorturl.cusu.edu.ua/10l> [in Ukrainian].
3. Komp'yuternyy zir – tse maybutnye avtomatyzatsiyi testuvannya prohramnoho zabezpechennya – istoriya mynuloho, s'ohodennya ta maybutn'oho [Computer vision is the future of software testing automation – a history of the past, present and future]. Retrieved from: <https://shorturl.cusu.edu.ua/v3> [in Ukrainian].
4. Kontseptsiya stratehiyi povoyennoho vidnovlennya ta rozvytku Ukrayiny. (2022) [The concept of the post-war recovery and development strategy of Ukraine]. Natsional'nyy instytut stratchichnykh doslidzhen. Retrieved from: <https://shorturl.cusu.edu.ua/un> [in Ukrainian].
5. Kromkach, V. (2024). Rol' komp'yuternoho zoru v suchasnomu sviti: dosyahnennya, vyklyky ta perspektyvy [The role of computer vision in the modern world: achievements, challenges and prospects]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. T. 2. P. 79–87 [in Ukrainian].
6. Prokopenko, A.A. (2024). Rozvytok tsyfrovoyi kompetentnosti ofitseriv viys'kovoho upravlinnya zbroynykh syl Ukrayiny v systemi pidvyshchennya kvalifikatsiyi [Development of digital competence of officers of the military command of the armed forces of Ukraine in the system of advanced training]. Kyiv. 331 p. [in Ukrainian].
7. Sadovyi, M.I., & Tryfonova, O.M. (2013). Istoriya fizyky z pershykh etapiv stanovlennya do pochatku XXI stolittya [History of physics from the first stages of formation to the beginning of the 21st century]. Kirovohrad. 436 p. [in Ukrainian].
8. Slipukhina, I.A., Polikhun, N.I., & Chernets'kyi, I.S. (2018). Pedahohika XXI stolittya: formuvannya tsyfrovoyi dydaktyky [Pedagogy of the 21st century: the formation of digital didactics]. *Zb.pr. Pedahohichni nauky*. Kherson. Vyp. LXXXIII. T. 1. P. 231–237. Retrieved from: http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/eng/file/issue_83/part_1/45.pdf [in Ukrainian].
9. Somenko, D.V., Tryfonova, O.M., & Sadovyi, M.I. (2023). Shtuchnyy intelekt ta neyromerezhi v osvitn'omu protsesi: perevahy ta nedoliky [Artificial intelligence and neural networks in the educational process: advantages and disadvantages]. *Aktual'ni problemy ta perspektyvy tekhnolohichnoyi i profesiynoyi osvity*. Ternopil. P. 78–81 [in Ukrainian].
10. Tryfonova, O.M. (2020) Metodychna systema rozvytku informatsiyno-tyfrovoyi kompetentnosti maybutnikh fakhivtsiv komp'yuternykh tekhnolohiy u navchanni fizyky i tekhnichnykh dystsyplin [Methodological system for developing information and digital competence of future computer technology specialists in teaching physics and technical disciplines]. Kropyvnyts'kyi. 595 p. [in Ukrainian].
11. Lawrence, R.G. (1963) Machine perception of three-dimensional solids: Description (Ph.D.) / Massachusetts Institute of Technology. 82 p. [in English].