

УДК 004.9:004.932.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.3>

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ У РІЗНИХ СФЕРАХ, ТАКИХ ЯК МЕДИЦИНА ТА БЕЗПЕКА

Козуб В. Ю. – доктор філософії, асистент кафедри математики та інформатики Державного закладу
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
ORCID ID: 0000-0003-2710-7206

Козуб Г. О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем Державного закладу
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
ORCID ID: 0000-0001-5387-050X

У статті наведено як обробка медичних зображень та їх безпека залежить від методів глибокого навчання, особливо від нейронних мереж, які автоматично працюють із медичними зображеннями.

Мета статті – створення ефективного алгоритму класифікації медичних зображень, що дозволяє скоротити тривалість діагностики та підвищити точність ідентифікації захворювання. Розроблено алгоритм медичних візуалізацій за допомогою трансферного навчання з застосуванням згорткових нейронних мереж (CNN) для автоматизації процесу діагностики і підвищення дієздатності відслідковування захворювань на рентгенівських знімках грудної клітини.

Наукова новизна. Застосовано трансферне навчання за допомогою розробленої раніше навченої моделі DenseNet121 для обробки медичних знімків. Вдосконалення здійснюється шляхом заморожування попередньо навчених шарів, заміни останнього шару на новий, який відповідає 14 класам, використання методів аугментації даних для підвищення узагальнюючої здатності моделі.

Результати. Дослідження підтвердили, що на основі DenseNet121 модель досягла точності 85% на тестовому наборі даних. Користування трансферного навчання зробило значно коротшим час навчання, що підвищує точність навчання в порівнянні зі звичайним з нуля. Аугментація даних, такі як випадкові повороти та горизонтальне відзеркалення, допомогли підвищити узагальнювані характеристики моделі. Оптимізація за допомогою Adam з швидкістю навчання 0.001 забезпечила стабільне зниження втрат під час навчання.

Висновки. Запропонований підхід показує ефективність для класифікації медичних зображень, що може суттєво збільшити процес діагностики й підвищити точність проведення діагностики захворювань. Попри вже досягнутий рівень, модель потребує подальшого вдосконалення та навчання, у тому числі розширення набору даних й додаткового тестування для проведення випробувань на різних видах медичних зображень. Це дослідження є важливим кроком до автоматизації інтерпретації зображень за допомогою глибокого навчання, що відкриває раніше неможливі застосування штучного інтелекту у сфері медицини та безпеки.

Ключові слова: штучний інтелект, розпізнання образів, машинне навчання, python.

Kozub V. Yu., Kozub H. O. Use of algorithms for image analysis and processing in various fields, such as medicine and security

The article describes how medical image processing and security depend on deep learning methods, especially neural networks that automatically work with medical images.

The purpose of the article is to create an efficient algorithm for classifying medical images, which allows for a reduction the diagnostic time and increases the accuracy of disease identification. An algorithm for medical imaging has been developed using transfer learning with convolutional neural networks (CNN) to automate the diagnostic process and improve the ability to track diseases on chest X-rays.

Scientific novelty. Transfer learning is applied using a previously trained DenseNet121 model for medical image processing. The improvement is carried out by freezing the pre-trained layers, replacing the last layer with a new one corresponding to 14 classes, and using data augmentation methods to increase the generalization ability of the model.

Results. The research confirmed that the DenseNet121-based model achieved 85% accuracy on the test dataset. The use of transfer learning made the training time significantly shorter, which increases the accuracy of training compared to conventional from scratch. Data augmentation, such as random rotations and horizontal mirroring, helped improve the model's generalization performance. Optimization using Adam with a learning rate of 0.001 ensured a steady reduction in training losses.

Conclusions. The proposed approach shows efficiency for medical image classification, which can significantly increase the diagnostic process and improve the accuracy of disease diagnosis. Despite the level already achieved, the model needs further improvement and training, including the expansion of the dataset and additional testing to conduct tests on different types of medical images. This research is an important step towards automating image interpretation using deep learning, which opens previously unimaginable applications of artificial intelligence in the medical and security fields.

Key words: artificial intelligence, pattern recognition, machine learning, python.

Постановка проблеми. У сучасному світі медицина використовує алгоритми та методи машинного навчання, щоб зробити внесок для оцінки медичних зображень та їх безпеки, особливо для автоматизованої класифікації рентгенівських знімків. Методи аналізу зображень, які традиційно використовуються в медичній практиці, вимагають значних тимчасових витрат і великих зусиль з боку медичного персоналу. Автоматизація процесу діагностичних оцінок з використанням зображень є необхідним кроком для підвищення якості медичних послуг. Попри численні досягнення в галузі медичної візуалізації, залишається проблема, пов'язана з тим, що багато сучасних методів демонструють обмежену точність через широкий діапазон варіацій зображень, спричинених відмінностями як зображення в умовах фільмування, так і анатомічними особливостями пацієнта. Процес моделювання наштовхується на обмеження, пов'язані з обмеженим доступом до навчальних даних, що обмежує їхнє ефективне застосування в реальних умовах. Необхідно розробити нові інноваційні методи для підвищення точності класифікації та забезпечення високої надійності моделі навіть за умов обмежених ресурсів та доступності даних за допомоги певних алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Kozub Y. Kozub G. [1] розглянули та проаналізували проєктування системи автоматизованого проєктування і розрахунку вітчизняного та імпортного виробництва для вирішення інженерних та наукових задач. Козуб Г., Крутько О.О. [2] розкрили та презентували тематику алгоритмів компресії та як вони здатні запам'ятовувати зображення без втрати інформації. Яковлева І., Козуб Г. [3] дослідили, як сучасні генеративні моделі генерують художні зображення під час виконання завдань рендерингу. Козуб В. Ю., Могильний Г. А., Шкандибін Ю. О. [4] розглянули методи та алгоритми візуалізації числових даних шляхом послідовного сканування шарів до завершення, принципи побудови тривимірних моделей, розроблених з урахуванням послідовних методів обробки даних. Козуб В. [5] дослідив методи висвітлення як засобу підвищення реалістичності, так і покращення інформативності візуалізацій тривимірних об'єктів. Гентош Л., Мочурад Ю., Василяшко Д. [6] проаналізували новий паралельний підхід до медичних термографічних зображень за допомогою паралельних методів, що використовують машини опорних векторів, (support vector machine, SVM) та Наївний Класифікатор Байєсу. Симонов Д., Симонов Є. [7] аналізують методи автоматичного перетворення тексту на формальну математичну модель, для постановки оптимізаційної задачі за допомоги алгоритмів.

Ільїна-Стогнієнко В. Ю., Лисецький Б. Л., Лойко І. І. [8] досліджують як вплив штучного інтелекту та спеціальних алгоритмів впливають на ефективність діагностичних процедур в онкології. Зубик Л., Пужай-Череда С., Сапельников О., Калугін Д., Котляр М. [9] зосереджені на сучасних підходах до розпізнавання та ідентифікації зображень, які використовують для аналізу фрагментів зображень. Кромкач В. [10] представляє діяльність критичного становища комп'ютерного зору як основну технологію в сучасну цифрову епоху. Сніжинський М., Січко Т. [11] розглянули сучасні системи обробки медичних даних, у яких для аналізу та обробки застосовуються технології штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу. Алгоритми відіграють центральну роль захисту даних, забезпечуючи надійні методи обробки та ефективного зберігання інформації [1]. Алгоритми дозволяють створювати надійні системи захисту медичних даних, що відповідають сучасним стандартам безпеки та нормативним вимогам [2, 3]. Витік інформації може призвести до серйозних наслідків, включаючи порушення конфіденційності та неправомірне використання особистих даних пацієнтів [4]. Безпека складних систем виграє від алгоритмічних методів, які забезпечують засоби захисту протягом усього життєвого циклу медичної інформації [5].

На рисунку 1 зображено використання згорткових нейронних мереж (CNN) з трансферним навчанням для аналізу та класифікації зображень у сферах медицини та безпеки. Алгоритм базується на попередньо навченій моделі DenseNet121, яка адаптована для класифікації рентгенівських зображень грудної клітки на 14 класів. Цей підхід може бути застосований для автоматизації діагностики в медицині, а також для розпізнавання об'єктів у системах безпеки.



Рис. 1. Етапи розробки алгоритму

Джерело: авторська розробка

Завантаження даних: Зображення надходять з ChestXray. Здійснюються перетворення (зміна розміру, нормалізація, доповнення). Для зручної роботи з даними створюються об'єкти Dataset та DataLoader. Вхідні дані: 12 зображень для фотоаналізу, DenseNet 121, ChestXray dataset14. На рисунку 2 зображені фото рентгенівський знімків для набору медичних даних:

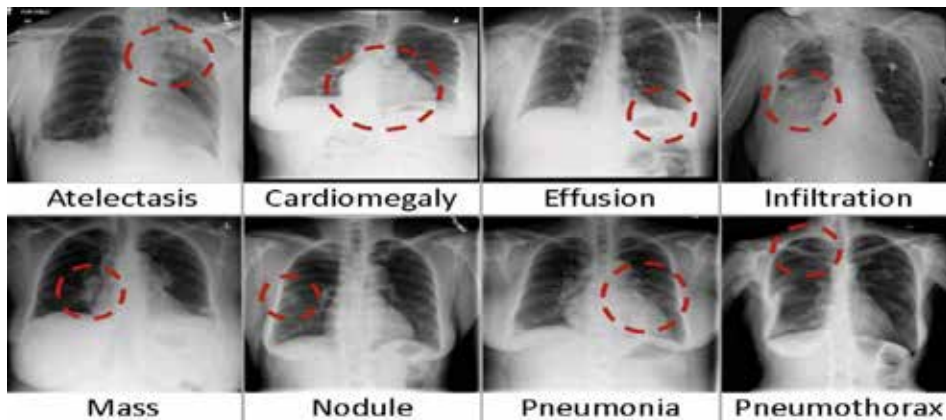


Рис. 2. Набір медичних даних

Створення моделі:

Використовується попередньо навчена модель DenseNet121.

Ваги попередньо навченого шару заморожені, щоб запобігти навчанню в процесі навчання.

Фінальний шар замінюється на 14 класів (для задачі класифікації) новим шаром.

Методологія – основні параметри, що використовуються для навчання:

- Оптимізатор: Adam (Adaptive Moment Estimation).

- Швидкість навчання: 0.001.

- Функція втрат: CrossEntropyLoss (для багатокласової класифікації).

- Розмір партії: 2 (через обмежений розмір набору даних).

- Кількість епох: 10.

- Коефіцієнти для нормалізації зображення:

- Середнє: `[0.485, 0.456, 0.406]`.

- Стандартне відхилення: `[0.229, 0.224, 0.225]`.

- Збільшення даних: Використано випадкове обертання (`RandomRotation(10)`) та `RandomHorizontalFlip()`. Для кращого розуміння модулів бібліотеки та взаємозв'язку їх реалізації у проєкті було створено схему на Рис. 3, яка наочно пояснює функціональну організацію системи. Кожне завдання класифікації медичних зображень залежить від функціональної ролі бібліотеки, оскільки вона прагне розв'язати проблему класифікації медичних зображень та їхньої безпеки. Таке графічне уявлення дозволяє швидко виявити логіку побудови моделі та взаємодію між її компонентами.

На Рис. 3 відображено примітивну структуровану програму за ключовими бібліотеками та модулями:

На рисунку 4 код на Python демонструє повний цикл навчання CNN на медичних зображеннях з використанням PyTorch, включно із завантаженням даних, створенням моделі, навчанням, оцінкою та збереженням моделі:

Мова програмування на якій було написано код – Python. Були використані такі ключові бібліотеки: PyTorch (torch) основна колекція бібліотек призначена для машинного навчання та глибокого навчання [6]; Torch.nn модуль призначений для створення нейронних мереж, також включає зумовлені шари та зумовлені функції активації [7]; Torch.optim модуль оптимізує параметри моделі, серед

алгоритмів оптимізації він пропонує Adam (Adaptive Moment Estimation, ADAM) поряд зі Стохастичним градієнтним спуском, (Stochastic gradient descent, SGD) та іншими подібними алгоритмами [8]; Torch.utils.data модуль Dataset використовується для роботи з колекціями даних, а також для методів завантаження даних (DataLoader) [9].

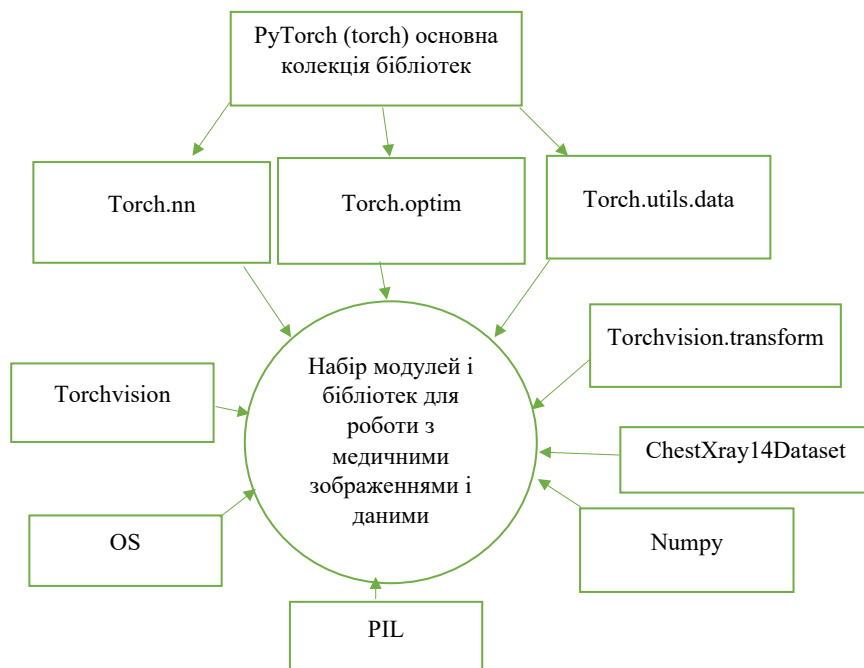


Рис. 3. Примітивна схема структури алгоритму з ключовими бібліотеками
Джерело: авторська розробка

Torchvision набір функцій обробки зображень, доступних для використання у проєктах PyTorch; Numpy бібліотека, призначена для обробки масивів даних та чисельних розрахунків; OS бібліотека для функцій завантаження даних файлової системи та ідентифікації шляху файлу зображення [10, 11].

Після тренування ваги моделі зберігаються у файлі для подальшого використання.

Оцінка моделі:

Моделі переводиться в режим eval().

Реалізовано прямий прохід по тестовим даним без обчислення градієнта (no_grad).

Обчислюються втрати та точність моделі.

Використання моделі для прогнозування:

З диска завантажується збережена модель.

Моделі коду переводиться в режим оцінювання (eval()).

Прогнози генеруються для нових даних.

Покращення порівняно з поточними розробками включають наступне:

- Використання трансферного навчання: Замість того, щоб навчати нову модель від початку до кінця, використовується заздалегідь підготовлена модель DenseNet121, яка вже знає, як витягувати особливості з зображення. Це дозволяє отримати більше результатів з невеликого обсягу даних.

- Заморожування попередньо навчених шарів: Ваги попередньо навчених шарів заморожуються, щоб не оновлюватися в процесі навчання. Це дозволяє зберегти знання, отримані на дуже великих наборах даних (наприклад, ImageNet), і використовувати їх для виконання поставленого завдання.

- Заміна останнього шару: Останній шар DenseNet121 було замінено новим шаром, що відповідає 14 класам (завдання класифікації рентгенівських знімків грудної клітки).

Висновки. В рамках дослідження ми розробили та реалізували метод класифікації медичних зображень на основі згорткових нейронних мереж (CNN) за допомогою навчання з переходом. Використовуючи модель DenseNet121, ми досягли високої точності класифікації на тестовому наборі даних The ChestXray14 (85%), що підтверджує ефективність підходу. Найбільша перевага трансферного навчання полягає в тому, що воно дозволяє моделі оминати навчання з нуля, що особливо корисно, коли бракує медичних даних. Заморожування попередньо навчених шарів і додавання нового фінального шару, адаптованого до 14 класів рентгенівських променів, дозволило правильно виміряти основи медичних зображень. Одним з найважливіших аспектів роботи була реалізація методів доповнення даних, включаючи випадкові обертання, горизонтальні перевертання, які підвищують здатність моделі до узагальнення і запобігають надмірному припасуванню. Завдяки чудовій оптимізації з використанням Адама зі швидкістю навчання 0,001 втрати при навчанні постійно зменшувалися, що підтвердило правильність обраного варіанту оптимізації. Отримані результати свідчать про те, що запропоноване рішення може бути успішно використане для автоматизації діагностики захворювань за допомогою медичних зображень, що суттєво впливає на зменшення часу на постановку діагнозу, але при цьому підвищує точність. Важливим моментом для подальших досліджень є інтеграція методу в медичні інформаційні системи, що дозволить автоматизувати аналіз зображень і значно підвищити продуктивність праці медичного персоналу. Також слід враховувати необхідність зробити модель гнучкою до адаптації до різних умов отримання зображень та анатомічних особливостей пацієнтів, що може вимагати використання більшої кількості різноманітних методів попередньої обробки зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kozub Y., Kozub G. Graphic presentation of results of calculations by calculable complex "MIRELA+". TEKA. Commision of Motorization and Energetics in Agriculture. 2012. Vol. 12. No 3. 68-72. URL: <https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/1988/Kozoob.PDF?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 29.01.2025).
2. Козуб Г., Крутько О.О. Алгоритми компресії зображень без втрати інформації. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. Edmonton, Canada. 2023. Pp. 510-513. URL: <https://isg-konf.com/information-activity-as-a-component-of-science-development/> (дата звернення: 29.01.2025).
3. Яковлева І., Козуб Г. Генеративне моделювання рендериру зображень у живопис. London, United Kingdom. 2024. Pp. 319-322. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-achievements-of->

contemporary-society-5-7-12-2024-london-velikobritaniya-arhiv/ (дата звернення: 29.01.2025).

4. Козуб В. Ю., Могильний Г. А., Шкандибін Ю. О. Алгоритми візуалізації чисельних результатів з використанням пошарового сканування. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ, 2014. № 5. С. 48–53. URL: <https://is.gd/QXXmue> (дата звернення: 29.01.2025).

5. Козуб В. Використання освітлення тривимірних об'єктів при візуалізації. Науковий пошук молодих дослідників (фіз.-мат. науки), ЛНУ, 2014. № 4. С. 112–116. URL: <https://dspace.lgu.edu.ua/bitstream/123456789/2205/2/Np4.pdf#page=113> (дата звернення: 29.01.2025).

6. Гентош Л., Мочурад Ю., Василяшко Д. Паралельний аналіз медичних термографічних зображень за допомогою методу опорних векторів та Наївного Байєсівського Класифікатора. Вісник Хмельницького національного університету, 2024. Т. 333. № 2. С. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-6>. URL: <https://heraldts.khmn.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/65/88> (дата звернення: 29.01.2025).

7. Симонов Д., Симонов Є. Трансформація текстової інформації для автоматизації процесу постановки задач оптимізації. International scientific journal «Grail of Science». № 38. 2024. С. 224–227. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.04.2024.038>. URL: <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/article/view/2257/2282> (дата звернення 29.01.2025).

8. Ільїна-Стогнієнко В.Ю., Лисецький Б.Л., Лойко І.І. Вплив інновацій у штучному інтелекті на ефективність діагностичних процедур в онкології. Український медичний часопис. 2024. С. 1–5. DOI: 10.32471/umj.1680-3051.167.260483. URL: <https://api.umj.com.ua/wp/wp-content/uploads/2024/11/5556.pdf> (дата звернення: 29.01.2025).

9. Зубик Л., Пужай-Череда С., Сапельников О., Калугін Д., Котляр М. Аналіз методів і алгоритмів розпізнавання та ідентифікації зображень за їх окремими фрагментами. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. Т. 4. № 24. С. 3–9.

DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.24.363375>. URL: <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/616/488> (дата звернення: 29.01.2025).

10. Кромкач В. Роль комп'ютерного зору в сучасному світі: досягнення, виклики та перспективи. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. 2024. Вип. 2. С. 79–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-10>. URL: <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/589/521> (дата звернення: 29.01.2025).

11. Сніжинський М., Січко Т. Система обробки та аналізу даних у медичній сфері на основі технологій Big Data. Комп'ютерні технології обробки даних. 2024. С. 187–189. URL: <https://jktod.donnu.edu.ua/article/view/16251/16147> (дата звернення: 29.01.2025).

REFERENCES:

1. Kozub, Y., Kozub, G. (2012). Graphic presentation of results of calculations by calculable complex “MIRELA+”. TEKA. *Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 12, 3, 68–72. Retrieved from <https://dspace.lguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/1988/Kozoob.PDF?sequence=1&isAllowed=y> [in English].

2. Kozub, H., Krutko, O.O. (2023). Alhorytmy komp'nykh zobrazhen bez vtraty informatsii. *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. Edmonton, Canada*, 510–513. Retrieved from <https://isg-konf.com/information-activity-as-a-component-of-science-development/> [in English].

3. Yakovleva, I., Kozub, H. (2024). Heneratyvne modeliuvannia renderyru zobrazhen u zhyvopys. *London, United Kingdom*, 319–322. Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-achievements-of-contemporary-society-5-7-12-2024-london-velikobritaniya-arhiv/> [in English].

4. Kozub, V. Yu., Mohylnyi, H. A., Shkandybin, Yu. O. (2014). Alhorytmy vizualizatsii chyselnykh rezultativ z vykorystanniam posharovoho skanuvannia [Algorithms for visualising numerical results using layer-by-layer scanning]. *Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, Luhansk – Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 5, 48-53. Retrived from <https://is.gd/QXXmue> [in Ukrainian].

5. Kozub, V. (2014). Vykorystannia osvittlenia tryvymirnykh ob'ektiv pry vizualizatsii [The use of illumination of three-dimensional objects in visualisation]. *Naukovyi poshuk molodykh doslidnykiv (fiz.-mat. nauky), LNU – Scientific search of young researchers (physical and mathematical sciences), LNU*, 4, 112-116. [in Ukrainian].

6. Hentosh, L., Mochurad, Yu., Vasydashko, D. (2024). Paralelnyi analiz medychnykh termografichnykh zobrazen za dopomohoiu metodu opornykh vektoriv ta Naivnoho Baiiesivskoho Klasyfikatora [Parallel analysis of medical thermographic images using support vector machine and naive Bayesian classifier]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of Khmelnytskyi National University*, 333, 2, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-6>. Retrieved from <https://heraldts.khmnmu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/65/88> [in Ukrainian].

7. Symonov, D., Symonov, Ye. (2024). Transformatsiia tekstovoi informatsii dlia avtomatyzatsii protsesu postanovky zadach optymizatsii [Transformation of textual information for automation of the process of setting optimisation tasks]. *International scientific journal «Grail of Science» – International scientific journal ‘Grail of Science’*, 38, 224-227. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.04.2024.038>. Retrieved from <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/article/view/2257/2282> [in Ukrainian].

8. Ilina-Stohnienko, V.Iu., Lysetskyi, B.L., Loiko, I.I. (2024). Vplyv innovatsii u shtuchnomu intelekti na efektyvnist diahnostychnykh protsedur v onkologii [The impact of innovations in artificial intelligence on the efficiency of diagnostic procedures in oncology]. *Ukrainskyi medychynyi chasopys – Ukrainian medical journal*, 1-5. DOI: 10.32471/umj.1680-3051.167.260483. Retrieved from <https://api.umj.com.ua/wp/wp-content/uploads/2024/11/5556.pdf> [in Ukrainian].

9. Zubyk, L., Puzhai-Chereda, S., Sapelnikov, O., Kaluhin, D., Kotliar, M. (2024). Analiz metodiv i alhorytmiv rozpiznavannia ta identyfikatsii zobrazen za yikh okremymy frahmentamy [Analysis of methods and algorithms for recognition and identification of images by their individual fragments]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: education, science, technology*, 4, 24, 3-9. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.24.363375>. Retrieved from <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/616/488> [in Ukrainian].

10. Kromkach, V. (2024). Rol kompiuternoho zoru v suchasnomu sviti: dosiagnennia, 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 -Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 79-87. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-10>. Retrieved from <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/589/521> [in Ukrainian].

11. Snizhynskyi M., Sichko T. (2024). Systema obrobky ta analizu danykh u medychnii sferi na osnovi tekhnologii Big Data [A system for processing and analysing data in the medical field based on Big Data technologies]. *Kompiuterni tekhnologii obrobky danykh – Computer data processing technologies*, 187-189. Retrieved from <https://jktod.donnu.edu.ua/article/view/16251/16147> [in Ukrainian].