

МАЗУР ЄВГЕН

Хмельницький національний університет

e-mail: ev.mazur27@gmail.com**МАЗУРЕЦЬ ОЛЕКСАНДР**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8900-0650>e-mail: exe.chong@gmail.com**КЛІМЕНКО ВАЛЕРІЯ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5869-4269>e-mail: ler.klimenko.8@gmail.com**СОБКО ОЛЕНА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5371-5788>e-mail: olenasobko.ua@gmail.com**ЗАЛУЦЬКА ОЛЬГА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1242-3548>e-mail: zalutsk.olha@gmail.com

АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ

У статті наведено огляд сучасного стану автоматизованого виявлення порушень постави людини за візуальними даними. Актуальність дослідження зумовлена стрімким зростанням кількості випадків викривлення хребта внаслідок малорухливого способу життя, тривалої роботи за комп'ютером та браку контролю за положенням тіла. Це зумовлює потребу у створенні інноваційних рішень, здатних забезпечити ранню діагностику постуральних розладів за допомогою методів комп'ютерного зору. Запропонований у дослідженні підхід базується на аналізі скелетної структури людини на основі зображень із подальшим застосуванням математично-алгоритмічного аналізу координат ключових точок хребта для виявлення типових порушень постави.

Наведено прикладну реалізацію описаного математико-алгоритмічного забезпечення на основі спроектованої інформаційної системи. Прикладна програмна реалізація працює на основі нейромережевої моделі YOLO, що була донавчена на спеціалізованому датасеті. Навчання моделі тривало 25 епох і дозволило досягти точності виявлення ключових точок постави на фото понад 80%. Програмна реалізація використовувалась для валідації методу, де результати автоматизованого аналізу порівнювались із експертними оцінками, що підтвердило високу точність і чутливість підходу. Подальші дослідження плануються зосередити на використанні глибоких нейронних мереж для розпізнавання постави в реальному часі на основі відеопотоку. Запропонована система має перспективу широкого впровадження в мобільні додатки та платформи комп'ютерного зору для масового користувача.

Важливість розв'язання цієї проблеми не обмежується лише медичним аспектом. Виявлення та корекція порушень постави безпосередньо пов'язані з досягненням Цілей сталого розвитку (ЦСР), зокрема у контексті забезпечення загального доступу до якісного медичного обслуговування, підвищення фізичного благополуччя та впровадження інновацій у системи охорони здоров'я. Інтеграція подібних технологій підтримує як індивідуальний добробут, так і рівноправний доступ до медичних послуг для широких верств населення, що особливо актуально для країн з обмеженими ресурсами. Таким чином, розроблене рішення має потенціал зробити вагомий внесок у досягнення глобальних цілей сталого розвитку, включаючи зміцнення здоров'я націй, розвиток цифрової медицини та зменшення нерівності в доступі до інноваційних засобів діагностики.

Ключові слова: алгоритми, нейромережевий аналіз постави людини, інформаційна система.

**MAZUR YEVHEN, MAZURETS OLEKSANDR, KLIMENKO VALERIIA,
SOBKO OLENA, ZALUTSKA OLHA**

Khmelnytskyi National University

ALGORITHMS AND SOFTWARE ARCHITECTURE OF THE INFORMATION SYSTEM FOR NEURAL NETWORK ANALYSIS OF PEOPLE POSES

The article provides an overview of the current state of automated detection of people poses disturbances using visual data. The relevance of the study is due to the rapid increase in the number of cases of spinal curvature due to a sedentary lifestyle, prolonged work at a computer, and lack of control over body position. This necessitates the creation of innovative solutions capable of providing early diagnosis of postural disturbances using computer vision methods. The approach proposed in the study is based on the analysis of the people skeletal structure based on images with the subsequent application of mathematical and algorithmic analysis of the coordinates of key points of the spine to detect typical pose disturbances.

An applied implementation of the described mathematical and algorithmic support based on the designed information system is presented. The applied software implementation works on the basis of the YOLO neural network model, which was further trained on the specialized dataset. The model training lasted 25 epochs and allowed to achieve an accuracy of detecting key points of pose in the photo of more than 80%. The software implementation was used to validate the method, where the results of automated analysis were compared with expert assessments, which confirmed the high accuracy and sensitivity of the approach. Further research is planned to

focus on the use of deep neural networks for real-time pose recognition based on a video stream. The proposed system has the prospect of widespread implementation in mobile applications and computer vision platforms for the mass user.

The importance of solving this problem is not limited to the medical aspect. Detection and correction of pose disturbances are directly related to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs), in particular in the context of ensuring universal access to quality health care, improving physical well-being and introducing innovations in healthcare systems. The integration of such technologies supports both individual well-being and equitable access to healthcare services for a broad population, which is especially relevant for resource-limited countries. Thus, the developed solution has the potential to make a significant contribution to achieving global sustainable development goals, including strengthening the health of nations, developing digital medicine, and reducing inequalities in access to innovative diagnostic tools.

Keywords: algorithms, people pose neural network analysis, information system.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Аналіз предметної області

Порушення постави є однією з найбільш поширених проблем сучасного суспільства, що має значний вплив на загальний стан здоров'я людини. За останні десятиліття спостерігається стійка тенденція до збільшення частоти виникнення порушень постави серед різних вікових груп, включаючи дітей та підлітків. Це викликано рядом факторів, таких як малорухливий спосіб життя, довготривале використання комп'ютерних технологій, а також недостатня фізична активність [1]. В результаті порушення постави можуть призвести до розвитку серйозних захворювань опорно-рухового апарату, включаючи сколіоз, кіфоз та лордоз, що значно знижують якість життя людини та підвищують ризик виникнення хронічних болів і інших ускладнень.

Надійне та точне виявлення порушень постави є важливим етапом у профілактиці і корекції цих станів, що в свою чергу може значно покращити фізичне здоров'я населення. Враховуючи швидкий розвиток інформаційних технологій, зокрема нейромережових систем та автоматизованих методів обробки зображень, стає можливим створення ефективних інструментів для моніторингу і аналізу постави [2]. Ці технології не лише забезпечують швидкість та точність виявлення порушень, але й можуть бути інтегровані в загальну систему охорони здоров'я, що дозволяє своєчасно реагувати на проблеми з поставою [3].

Важливість цієї проблеми не обмежується лише медичним аспектом. Виявлення та корекція порушень постави безпосередньо пов'язане з досягненням Цілей сталого розвитку [4, 5], зокрема з покращенням фізичного здоров'я та забезпеченням доступу до належного медичного обслуговування. Впровадження інноваційних технологій у сфері охорони здоров'я, що дозволяють автоматизувати процеси діагностики, підтримує не лише індивідуальне здоров'я, але й забезпечує рівний доступ до медичних послуг для широких верств населення, сприяючи таким чином досягненню глобальних цілей сталого розвитку [6].

Огляд останніх публікацій

Протягом тривалого часу науковці активно досліджують методи моніторингу для виявлення психологічних розладів [7, 8] і впливів [9], емоційних станів [10, 11] тощо, однак методи візуального моніторингу фізичного здоров'я людини на сучасному етапі набувають все більшої актуальності [12].

Дослідження [13] присвячене розробці моделей машинного навчання для класифікації сидячої пози людини, зібраних за допомогою двох 32x32 сенсорів тиску, встановлених на сидінні та спинці стільця. Основною метою є виявлення неправильних звичок сидіння, які можуть призвести до болю в спині та м'язово-скелетних захворювань, особливо серед літніх людей, осіб з інвалідністю та офісних працівників. Використовувалися п'ять алгоритмів машинного навчання: Random Forest, Gaussian Naïve Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine та Deep Neural Network. Для оцінки моделей застосовувалася техніка KFold крос-валідації. Результати показали високі середні точності класифікації: 98% на контрольному наборі даних та 97% на реалістичному, для шести сидячих поз.

Робота [14] також присвячена вирішенню проблеми виявлення неправильних сидячих поз через розпізнавання постави в роботизованих системах. Це важлива проблема через негативний вплив тривалого перебування в неправильних позах на здоров'я, зокрема розвиток захворювань хребта та міопії. Існуючі методи розпізнавання постави здебільшого орієнтуються на визначення особливостей людського тіла, але не враховують оточуючі об'єкти в сцені, що обмежує їх здатність виявляти деякі види неправильних сидячих поз, особливо в складних умовах. Щоб вирішити ці проблеми, автори пропонують підхід, що поєднує розпізнавання сцени та семантичний аналіз для виявлення неправильних сидячих поз. Для цього використовується сенсор Microsoft Kinect, який відстежує ключові точки скелету людини, а метод глибокого навчання Faster R-CNN застосовується для точного розпізнавання об'єктів у сцені. Далі система проводить семантичний аналіз за допомогою кластеризації поведінки на основі гауссівських змішувальних моделей для кращого розуміння сцени. Поєднуючи виявлені особливості скелету та об'єкти сцени, метод дозволяє точно розрізняти різні сидячі пози. Експериментальні результати показали, що цей підхід не тільки виявляє більше видів неправильних сидячих поз, ніж існуючі методи, а й уникати помилок в складних середовищах.

Дослідження [12] представляє систему Smart-Cover, що автоматично моніторить сидячу позу для запобігання проблемам зі здоров'ям, зокрема болям у спині та деформаціям хребта, які можуть виникнути

через тривале сидіння в асиметричних позах. Традиційно, для оцінки постави використовуються суб'єктивні методи спостереження фахівців або дорогі лабораторні системи захоплення рухів, які не завжди доступні. У цьому дослідженні запропоновано більш доступний і економічний підхід, заснований на використанні Сенсора тиску при сидінні (SPS), що складається з матеріалів Velostat, провідної тканини та піни для збору інформації про розподіл тиску на поверхні сидіння.

Метою роботи є розробка алгоритмів та програмної архітектури інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини, яка дозволить автоматизовано виявляти можливі порушення постави людини за фото.

Формалізація підходу до виявлення порушень постави людини за фото

Спершу наведено математична формалізація задачі виявлення порушень постави людини за зображенням. Використано 4 ключові точки вздовж хребта людини: Cervical Spine (шийний відділ хребта); Thoracic Spine (грудний відділ хребта); Lumbar Spine (поперековий відділ хребта); Sacral Spine (крижовий відділ хребта). Нехай множина точок P характеризує поставу людини на фото:

$$P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\} \quad (1)$$

Відповідно, (x_1, y_1) – точка, що належить до шийного відділу хребта, (x_2, y_2) – точка, що належить грудному відділу хребта, (x_3, y_3) – точка, що належить поперековому відділу хребта, а (x_4, y_4) – точка, що належить крижовому відділу хребта. Ця множина точок дозволяє описати основні вигини хребта та визначити тип порушення постави на основі їхніх координат та взаємних кутів. є достатніми для виявлення порушень постави, оскільки вони відповідають ключовим анатомічним орієнтирам хребта, що визначають його вигини.

Людський хребет у нормальному стані має чотири основні кривини: шийний лордоз (вигин вперед), грудний кіфоз (вигин назад), поперековий лордоз (вигин вперед) та крижовий кіфоз (вигин назад). Описані точки покривають саме ці відділи, що дозволяє оцінити відхилення від нормальної постави.

Постава визначається взаємним розташуванням цих точок та їхніми кутами нахилу. Основні вигини хребта можна охарактеризувати трьома кутами (2, 3, 4) між відповідними сегментами хребта. Шийний кут (θ_1) – між шийним та грудним відділом:

$$\theta_1 = \arctan((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)) \quad (2)$$

Грудний кут (θ_2) – між грудним та поперековим відділом:

$$\theta_2 = \arctan((y_3 - y_2) / (x_3 - x_2)) \quad (3)$$

Поперековий кут (θ_3) – між поперековим та крижовим відділом:

$$\theta_3 = \arctan((y_4 - y_3) / (x_4 - x_3)) \quad (4)$$

Ці кути будуть порівнюватись із нормальними референсними значеннями (θ_1^* , θ_2^* , θ_3^*) для виявлення відхилень. Для оцінки постави буде використано функцію відхилення:

$$\Delta\theta_i = |\theta_i - \theta_i^*|, i=1,2,3 \quad (5)$$

де i – порядковий номер кута з подань 2 – 4. Якщо хоча б одне з $\Delta\theta_i$ перевищує допустиме значення ε , тоді вважається, що порушення постави наявне:

$$\text{Порушення проявлено} \Leftrightarrow \exists i \text{ такий, що } \Delta\theta_i > \varepsilon_i, \quad (6)$$

де ε_i – допустиме відхилення i -го кута, встановлене емпірично.

Тип порушення постави пропонується визначати за знаками $\Delta\theta_i$. Відповідно, гіперлордоз (надмірний прогин вперед) тоді можна формалізувати так:

$$\theta_1 > \theta_1^* \text{ та } \theta_3 > \theta_3^*, \quad (7)$$

Гіперкіфоз, або ж надмірний вигин назад пропонується виявляти так:

$$\theta_2 > \theta_2^*, \quad (8)$$

Плоска спина, або ж відсутність природних вигинів пропонується виявляти так:

$$\theta_1 \approx \theta_1^* \text{ та } \theta_2 \approx \theta_2^* \text{ та } \theta_3 \approx \theta_3^*, \quad (9)$$

Сколіоз, або бокове викривлення пропонується визначати як відхилення координат осі абсцис:

$$|x_2 - x_1| > d_1 \text{ або } |x_3 - x_2| > d_2, \quad (10)$$

де d_1 , d_2 – критичні значення зміщення, визначені емпіричним шляхом. Тоді нормальність постави можна визначити, як нормалізовану суму відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\theta_i}{\theta_i^*} \quad (11)$$

Якщо $S < \lambda$, то постава вважається нормальною, інакше вважається, що є порушення. Де λ – емпірично встановлений поріг, n – загальна кількість кутів, що відповідають поданням (2) – (4), у дослідженні $n=3$.

За наведеним математичним описом для автоматизовано виявляти можливі порушення постави людини за фото у наступному розділі наведено основні алгоритми 1-7.

Алгоритми для нейромережевого аналізу постави людини за фото

Алгоритм для обчислення кута між двома точками визначає кут між ними, використовуючи координати двох точок на площині. Для цього обчислюється різниця між їхніми координатами по осях x і y , після чого знаходиться арктангенс відношення цих різниць, що і дає кут. Цей кут буде використано для подальших порівнянь та оцінки відхилень у поставі. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 1 – Обчислення кута між двома точками:*Вхідні дані:* координати двох точок (x_1, y_1) і (x_2, y_2) *Вихідні дані:* кут θ між двома точками.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$
2. Обчислити зміну по осі y : $\text{delta_y} = y_2 - y_1$
3. Обчислити зміну по осі x : $\text{delta_x} = x_2 - x_1$
4. Обчислити кут $\theta = \arctan(\text{delta_y} / \text{delta_x})$
5. Вивести θ

Алгоритм для обчислення відхилення кута порівнює фактичний кут з референтним значенням кута і визначає, наскільки ці значення відрізняються. Відхилення обчислюється як абсолютна різниця між фактичним і референтним кутом, що дозволяє оцінити, чи відбулося відхилення від нормальної позиції. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 2 – Обчислення відхилення кута від референтного значення:*Вхідні дані:* фактичний кут θ і референтний кут θ^* *Вихідні дані:* відхилення кута $\Delta\theta$

Кроки алгоритму:

1. Вхід: фактичний кут θ , референтний кут θ^*
2. Обчислити відхилення: $\Delta\theta = |\theta - \theta^*|$
3. Вивести $\Delta\theta$

Алгоритм для перевірки наявності порушень постави використовує вектор відхилень для кожного з елементів постави та порівнює їх з допустимими значеннями. Якщо хоча б одне відхилення перевищує допустимий поріг, алгоритм виводить, що порушення постави є. Якщо всі відхилення знаходяться в межах норми, порушення не виявлено. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 3 – Перевірка наявності порушень постави:*Вхідні дані:* вектор відхилень $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, допустимі відхилення $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]$.*Вихідні дані:* булеве значення, що вказує на наявність або відсутність порушення постави.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]$
2. Для кожного i від 1 до 3:
 - а. Якщо $\Delta\theta_i > \varepsilon_i$:
 - і. Повернути True (порушення постави є)
3. Повернути False (порушень не виявлено)

Алгоритм для визначення типу порушення постави оцінює характер відхилень по трьох основних зонах постави: верхня, середня та нижня частини хребта. Якщо відхилення перевищують певні пороги для кожної зони, це може вказувати на специфічні порушення, такі як гіперлордоз чи гіперкіфоз. Якщо відхилення мінімальні, постава може бути визначена як нормальна. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 4 – Визначення типу порушення постави:*Вхідні дані:* відхилення кута $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, референтні кути $\theta^* = [\theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*]$.*Вихідні дані:* тип порушення постави.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, $\theta^* = [\theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*]$
2. Якщо $\Delta\theta_1 > \theta_1^*$ і $\Delta\theta_3 > \theta_3^*$:
 - а. Повернути "Гіперлордоз"
3. Якщо $\Delta\theta_2 > \theta_2^*$:
 - а. Повернути "Гіперкіфоз"
4. Якщо $\Delta\theta_1 \approx \theta_1^*$ і $\Delta\theta_2 \approx \theta_2^*$ і $\Delta\theta_3 \approx \theta_3^*$:
 - а. Повернути "Плоска спина"
5. Повернути "Сколіоз"

Алгоритм для перевірки на сколіоз фокусується на вимірюванні горизонтальних відстаней між точками, що визначають лінію хребта. Якщо відстані між точками перевищують задані критичні значення, це вказує на можливий сколіоз, і алгоритм виводить відповідне повідомлення про його наявність.

Алгоритм 5 – Перевірка на сколіоз:*Вхідні дані:* координати точок x_1, x_2, x_3 та критичні значення d_1, d_2 .*Вихідні дані:* булеве значення, що вказує на наявність сколіозу.

Кроки алгоритму:

1. Вхід: x_1, x_2, x_3, d_1, d_2
2. Якщо $|x_2 - x_1| > d_1$ або $|x_3 - x_2| > d_2$:
 - а. Повернути True (сколіоз виявлено)
3. Повернути False (сколіоз не виявлено)

Алгоритм для визначення нормальності постави підсумовує всі відхилення кута і порівнює їх з пороговим значенням, яке визначає, чи є постава нормальною чи порушеною. Якщо сума відхилень незначна і не перевищує порогового значення, постава вважається нормальною. В іншому випадку, виводиться повідомлення про порушення постави. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 6 – Визначення нормальності постави:

Вхідні дані: вектор відхилень $\Delta\theta=[\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, поріг λ
Вихідні дані: тип постави ("Нормальна постава" або "Порушення постави").
 Кроки алгоритму:
 1. Вхід: $\Delta\theta = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3]$, λ
 2. Обчислити суму відхилень: $S = \sum \Delta\theta_i$ для i від 1 до 3
 3. Якщо $S < \lambda$:
 а. Повернути "Нормальна постава"
 4. Повернути "Порушення постави"

Загальний алгоритм для виявлення порушень постави поєднує всі попередні кроки, починаючи від обчислення кутів між ключовими точками, визначення відхилень від нормальних значень, перевірки на сколіоз і завершуючи визначенням типу порушення постави. Цей алгоритм інтегрує всі необхідні функції для комплексного аналізу постави, що дозволяє точно визначити наявність порушень і їхній тип. Кроки алгоритму наведені нижче.

Алгоритм 7 – Загальний алгоритм для виявлення порушень постави:

Вхідні дані: координати точок $P=\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$, референтні кути θ^* , допустимі відхилення ε , поріг λ , критичні значення d_1, d_2 .
Вихідні дані: тип порушення постави або нормальна постава.
 Кроки алгоритму:
 1. Вхід: $P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$, $\theta^* = [\theta_1^*, \theta_2^*, \theta_3^*]$, $\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]$, λ , d_1, d_2
 2. Обчислити кути між точками:
 а. $\theta_1 = \text{calculate_angle}(x_1, y_1, x_2, y_2)$
 б. $\theta_2 = \text{calculate_angle}(x_2, y_2, x_3, y_3)$
 с. $\theta_3 = \text{calculate_angle}(x_3, y_3, x_4, y_4)$
 3. Обчислити відхилення кута:
 а. $\Delta\theta_1 = \text{calculate_deviation}(\theta_1, \theta_1^*)$
 б. $\Delta\theta_2 = \text{calculate_deviation}(\theta_2, \theta_2^*)$
 с. $\Delta\theta_3 = \text{calculate_deviation}(\theta_3, \theta_3^*)$
 4. Перевірити наявність порушень постави:
 а. Якщо $\text{check_posture_deviation}([\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3], \varepsilon)$:
 і. Визначити тип порушення постави: $\text{determine_posture_type}([\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3], \theta^*)$
 іі. Перевірити на сколіоз: якщо $\text{check_scoliosis}(x_1, x_2, x_3, d_1, d_2)$, додати "з сколіозом"
 б. Якщо не виявлено порушень:
 і. Повернути "Нормальна постава"

Наведені алгоритми для виявлення порушень постави є комплексним підходом, що поєднує різні етапи аналізу та дозволяє точно визначити наявність порушень постави і їхній тип. Починаючи з обчислення кутів між ключовими точками тіла, алгоритм враховує відхилення від нормальних значень, що визначаються на основі референтних куточків. Порівняння цих відхилень з допустимими порогами дозволяє виявити можливі порушення постави, такі як гіперлордоз, гіперкіфоз чи сколіоз. Алгоритми також враховують можливі варіації між точками, визначаючи горизонтальні відстані для перевірки на сколіоз. Завдяки інтеграції цих алгоритмів забезпечується можливість точного та всебічного аналізу постави, а також визначення типу порушення.

Програмна архітектура інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини

В рамках запропонованої методології інтелектуального виявлення порушень постави людини на основі зображень, виконано її проєктування. Взаємодія модулів спроектованої інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини наведено на рис.1.

Кожен модуль виконує притаманні йому функції, взаємодіючи з іншими, забезпечуючи цілісність процесу оцінки та діагностики постави.

Основний модуль виступає як керуючий компонент, що організовує роботу всієї системи. Він відповідає за ініціалізацію основних етапів аналізу, таких як завантаження зображення та моделі, визначення ключових точок та виведення результатів. Він інтегрує всі функціональні блоки та гарантує, що дані передаються між модулями згідно з визначеними алгоритмами. Його роль критична для забезпечення плавної роботи системи та її інтеграції з іншими компонентами.

Модуль обробки зображень відповідає за попередню обробку вхідного зображення. Він виконує завантаження та конвертацію зображення у формат RGB для подальшої обробки та нейромережевого аналізу. Модуль також здійснює візуалізацію точок на зображенні, що дозволяє користувачеві бачити результат роботи нейромережі. Це важливий крок, оскільки він забезпечує точність подальших обчислень і дозволяє коректно інтегрувати зовнішні дані.

Модуль аналізу постави є критичним компонентом, оскільки він відповідає за обчислення

кутів між ключовими точками хребта та виконує аналіз відхилень від нормальних значень. Використовуючи координати ключових точок (шийний, грудний, поперековий і крижовий відділи хребта), відбувається обчислення основних вигинів хребта і порівняння їх із референтними значеннями. Модуль використовує для обчислень нижчеописаний модуль математичних обчислень. Залежно від результатів порівняння, система визначає наявність патологій, таких як гіперлордоз, гіперкіфоз або сколіоз.

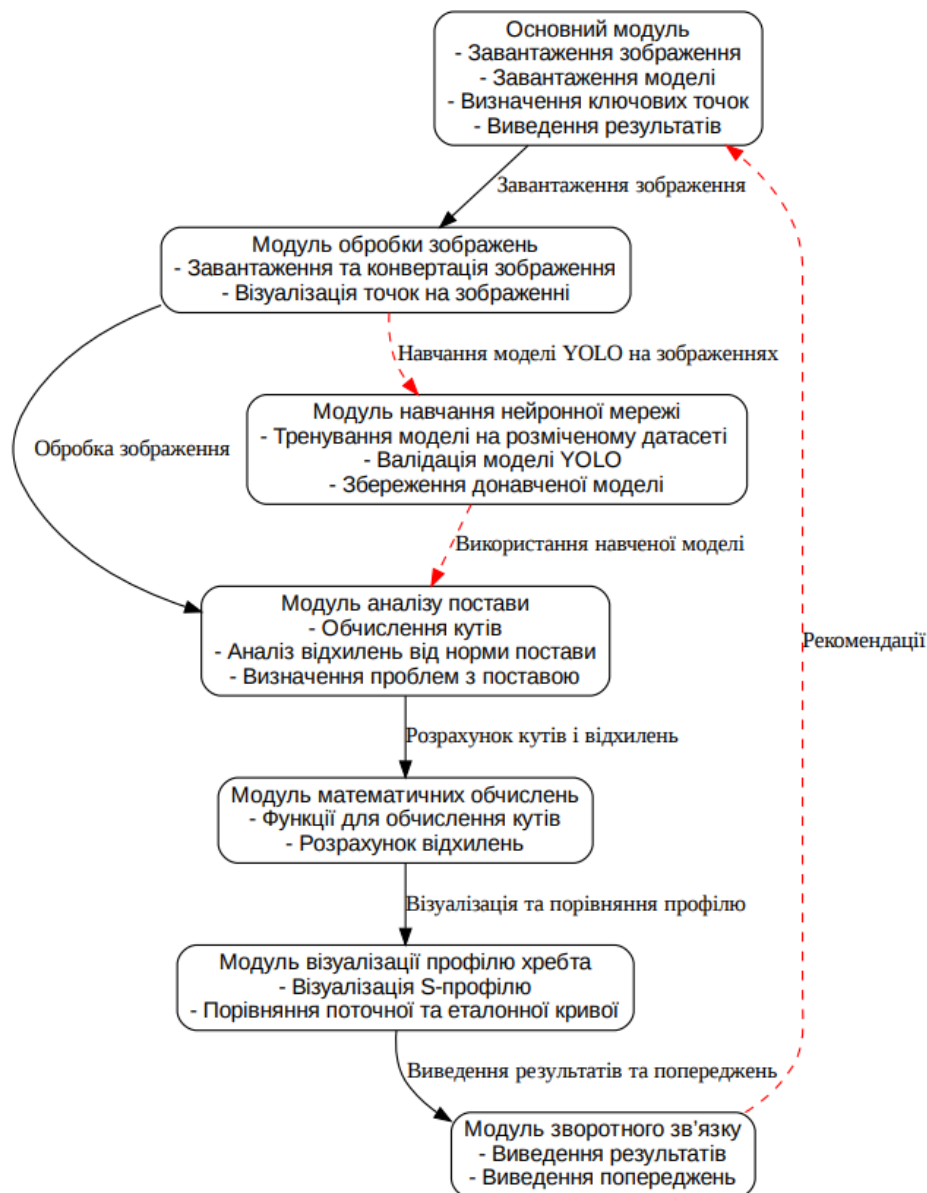


Рис. 1. Архітектура інформаційної системи неймережевого аналізу постави людини

Модуль математичних обчислень реалізує функції для точного розрахунку кутів між сегментами хребта, що є основою для оцінки постави. Він здійснює обчислення таких параметрів, як $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$, $\Delta\theta_3$, які використовуються для виявлення відхилень від нормальних значень. Цей модуль є важливим для забезпечення наукової обґрунтованості результатів і точності виявлення порушень постави.

Модуль візуалізації профілю хребта спеціалізується на візуалізації S-профілю хребта, що дозволяє порівняти поточну криву хребта з еталонною. Він дає змогу користувачу наочно оцінити кривизну хребта, порівнюючи фізіологічні вигини з нормальними значеннями. Модуль підтримує візуальний аналіз та надає додаткову інформацію для уточнення діагнозу.

Модуль зворотного зв'язку відповідає за відображення результатів аналізу, включаючи надання рекомендацій та попереджень користувачу. Це важливий етап, оскільки він не лише підсумовує результати, а й надає конкретні вказівки щодо стану постави користувача. Це забезпечує інтерактивність і дозволяє отримати важливу інформацію для подальших дій.

Модуль навчання нейронної мережі відповідає за тренування моделі на основі розміченого датасету, валідацію моделі та збереження її для подальшого використання. Його основною метою є підвищення точності визначення ключових точок на зображеннях шляхом тонкої настройки

неймережевої моделі. Це дозволяє системі ефективно адаптуватися до нових зображень і забезпечує її масштабованість.

Процес роботи системи організовано таким чином, що дані передаються через різні модулі, забезпечуючи послідовну обробку зображення та оцінку постави [15, 16]. Модулі тісно взаємодіють, що гарантує, що всі етапи обробки, аналізу та виведення результатів виконуються коректно і логічно зв'язано, а їх інтеграція забезпечує точність, ефективність та швидкість роботи системи. Завдяки цьому підходу, система здатна автоматизувати процес оцінки постави та виявлення порушень, що значно полегшує моніторинг і діагностику в медичних, спортивних і освітніх середовищах.

Дослідження ефективності розроблених алгоритмів з використанням прикладної програмної реалізації

За спроектованою програмною архітектурою інформаційної системи було здійснено її програмну реалізацію. Програмна реалізація була здійснена у хмарному середовищі Google Colab [17] засобами мови Python [168]. Для виявлення ключових точок було використано донавчену неймережу «yolo11s-pose.pt», що спеціалізується на виявленні постави. Неймережа була доналаштована з використанням датасету «Posture Keypoints Detection – Photos & Labels» [19]. Результати тренування на 25 епохах наведені на рис. 2.

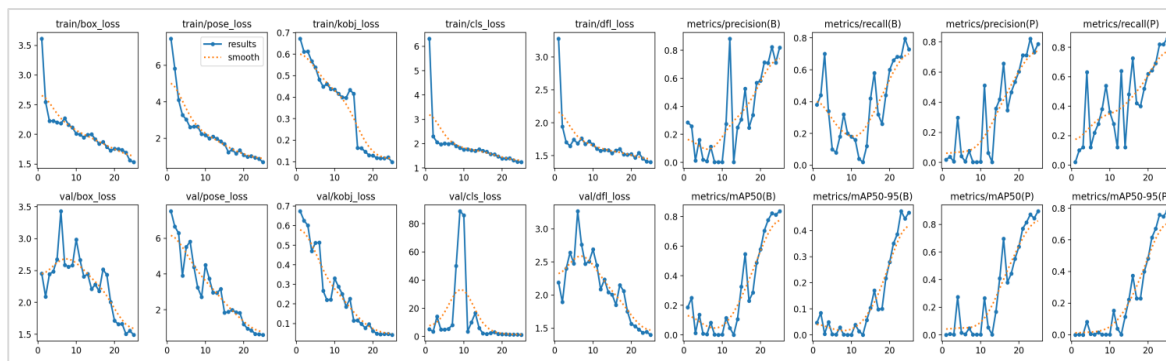


Рис. 2. Результат тонкої настройки неймережі «yolo11s-pose.pt»

Наведені графіки (рис. 2) відображають динаміку тренувальних і валідаційних метрик та втрат моделі, й свідчать про поступове навчання моделі з певною стабілізацією на пізніших епохах. Зокрема, спостерігається стійке зниження значень функцій втрат (*train/box_loss*, *train/pose_loss*, *train/kobj_loss*, *train/cls_loss*) протягом епох, що свідчить про ефективне пристосування моделі до тренувальних даних. Також показники точності (*metrics/precision*) та повноти (*metrics/recall*) для об'єктів (B) і позицій (P) мають загальну тенденцію до зростання, що вказує на поліпшення здатності моделі до правильної ідентифікації цільових об'єктів. Однак, для даної неймережі можливе підвищення точності при збільшенні кількості епох навчання, що буде перевірено у подальших дослідженнях.

Приклад використання прикладної програмної реалізації із знайденими ключовими точками постави та проведенням аналізу наведено на рис.3. Як видно з рисунку, програмне забезпечення коректно виявляє можливі порушення в поставі. Для першого зразка порушень постави не виявлено, що в цілому видно з фото. Для другого зразка (чоловік із мобільним пристроєм) система виявила можливий вигин ший вперед. Це демонструє здатність програми розпізнавати відхилення в позі, зокрема щодо нахилу голови, що є типовою ознакою поганої постави при використанні гаджетів.

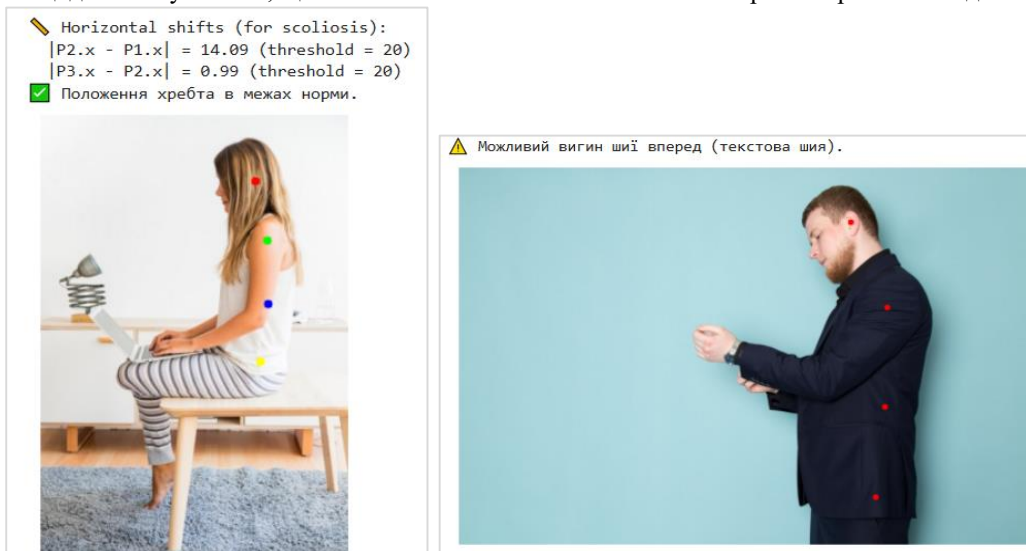


Рис. 3. Приклади автоматизованого аналізу постави людини за фото розробленим програмним забезпеченням

Відповідно до викладеного матеріалу, розроблені алгоритми та програмна архітектура дозволяють автоматизовано виявляти можливі порушення постави людини за фото.

Висновки

У статті наведено огляд сучасного стану автоматизованого виявлення порушень постави людини. постави людини за візуальними даними. З огляду на стрімке зростання кількості випадків викривлення хребта внаслідок малорухливого способу життя, роботи за комп'ютером і відсутності контролю за положенням тіла, зростає актуальність автоматизованих рішень, здатних виявляти ризики на ранніх стадіях. Дослідження демонструє, що використання методів аналізу скелетної структури людини на основі зображень у поєднанні з математично-алгоритмічними поданнями може забезпечити ефективну оцінку положення хребта, виявлення відхилень від норми та класифікацію типових порушень постави.

У запропонованому підході використовуються координати ключових точок уздовж хребта – шийного, грудного, поперекового та крижового відділів для побудови умовної осі постави. На основі розрахунку кутів між цими сегментами оцінюється ступінь викривлення. Застосовано евристичні правила для виявлення надмірного прогину, асиметрії або викривлень, що супроводжуються порушенням вертикальної осі тіла. Такий підхід може дозволити адаптувати систему до потреб фізіотерапії, дистанційного моніторингу стану пацієнтів, а також контролю постави в освітніх чи офісних середовищах.

Наведені алгоритми для нейромережевого аналізу постави людини за фото були реалізовані у прикладній програмній реалізації спроектованої інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини. Нейромережевою моделлю для виявлення ключових точок постави на фото було взято «yolo11s-pose.pt», яка має спеціалізацію виявлення постави. Нейромережа була донавчена на даних з датасету «Posture Keypoints Detection - Photos & Labels» протягом 25 епох. Програмна реалізація була використана для валідації запропонованого підходу, де на основі використання фото з імітацією різних сценаріїв порушення постави, експертами було порівняно програмні та очікувані результати, що дало змогу оцінити точність обчислень та виявлення. Отримані результати засвідчили, що метод демонструє високу чутливість до різних типів викривлень за умови точного визначення координат точок скелета. Подальші дослідження плануються зосередити на інтеграції глибоких нейронних мереж для автоматичного розпізнавання скелетної моделі людини з відеопотоку, що забезпечить повну автоматизацію процесу діагностики. Запропонований підхід має потенціал бути впровадженим у мобільні додатки та системи комп'ютерного зору для широкого кола користувачів.

Література

1. Posture, ergonomics and muscular disorders [Електронний ресурс] / Claudia Aparecida Stefane [et al.] // I Congresso Internacional Multidisciplinar de Ciências da Saúde - I CIMS. – [S. l.], 2024. – DOI: <https://doi.org/10.56238/i-cims-016> (дата звернення: 05.04.2025).
2. Smart Sensing Chairs for Sitting Posture Detection, Classification, and Monitoring: A Comprehensive Review [Електронний ресурс] / David Faith Odesola [et al.] // Sensors. – 2024. – Vol. 24, no. 9. – P. 2940. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s24092940> (дата звернення: 05.04.2025).
3. Intelligent systems for sitting posture monitoring and anomaly detection: an overview [Електронний ресурс] / Patrick Vermander [et al.] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2024. – Vol. 21, no. 1. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01322-z> (date of access: 05.04.2025).
4. Гладун О. Метод нейромережевого аналізу відеофіксації дій натовпу для визначення психологічних та соціокультурних характеристик угруповань [Електронний ресурс] / О. Гладун, О. Мазурець, О. Залуцька // Наука і техніка сьогодні. – 2025. – № 1(42). – DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1\(42\)-1068-1084](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1(42)-1068-1084) (дата звернення: 06.04.2025).
5. Алгоритм виявлення аб'юзивного вмісту в україномовному аудіоконтенті для імплементації в об'єктно-орієнтовану інформаційну систему [Електронний ресурс] / Марина Молчанова [et al.] // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2024. – Т. 331, № 1. – С. 101–106. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-17> (дата звернення: 06.04.2025).
6. Дидо Р. Метод формування аудіопотоку з моніторингу оточуючого середовища засобами машинного навчання [Електронний ресурс] / Р. Дидо, О. Собко, О. Мазурець // Наука і техніка сьогодні. – 2025. – № 1(42). – DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1\(42\)-1148-1161](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1(42)-1148-1161) (дата звернення: 06.04.2025).
7. Овчарук О. Нейромережеве діагностування проявів птср у текстовому контенті з використанням помилко-орієнтованого навчального набору даних [Електронний ресурс] / О. Овчарук, О. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2024. – Т. 343, № 6(1). – С. 195–200. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-30> (дата звернення: 06.04.2025).
8. Mazurets O. Efficiency Research of Method for Detecting Mental Disorders by Analysis of User Content / O. Mazurets, O. Ovcharuk // Information Technology and Implementation (Satellite): Proceedings

of the 11th International Conference (November 21, 2024, Kyiv, Ukraine). – 2024. – P. 46–47.

9. Молчанова М.О. Метод нейромережевого виявлення кібербулінгу з використанням хмарних сервісів та об'єктно-орієнтованої моделі / М. Молчанова, О. Мазурець, О. Собко, В. Кліменко, В. Андрощук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2024. – № 2 (333). – С. 200–206. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2> (дата звернення: 06.04.2025).

10. Hladun O. Real Time Detection the Person Emotion State Using Neural Network / O. Hladun, O. Mazurets, M. Molchanova, O. Sobko // Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference (November 25–27, 2024, Montreal, Canada). – 2024. – P. 119–123.

11. Yurchenko D. Approach to Using Cloud Services for Visual Analytics of Neural Network Analysis of Texts Emotional Tonality / D. Yurchenko, O. Mazurets, V. Didur, M. Molchanova // The Future of Scientific Discoveries: New Trends and Technologies: Proceedings of the XLVII International Scientific and Practical Conference (November 13–15, 2024, Marseille, France). – 2024. – P. 108–113.

12. Smart-Cover: A real time sitting posture monitoring system [Електронний ресурс] / Arif Reza Anwary [et al.] // Sensors and Actuators A: Physical. – 2021. – Vol. 317. – P. 112451. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112451> (дата звернення: 05.04.2025).

13. Gelaw T. Posture Prediction for Healthy Sitting Using a Smart Chair [Електронний ресурс] / Tariku Adane Gelaw, Misgina Tsighe Hagos // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. – Cham, 2022. – P. 401–411. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93709-6_26 (дата звернення: 05.04.2025).

14. A Scene Recognition and Semantic Analysis Approach to Unhealthy Sitting Posture Detection during Screen-Reading [Електронний ресурс] / Weidong Min [et al.] // Sensors. – 2018. – Vol. 18, no. 9. – P. 3119. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s18093119> (дата звернення: 05.04.2025)

15. Жарновський О. Практична реалізація методу ідентифікації згенерованих штучним інтелектом зображень людей засобами машинного навчання / О. Жарновський, Я. Казмірчук, О. Собко, О. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024». – 2024. – Хмельницький. – С. 198–204.

16. Pokhytun A. Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN / A. Pokhytun, O. Mazurets, M. Molchanova, O. Tyschenko // New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. – 2024. – Marseille, France. – Pp. 35–40.

17. Mazurets O. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones / O. Mazurets, V. Klimenko, M. Molchanova, A. Sultanov // Global Science: Prospects and Innovations: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference (2024, Liverpool, United Kingdom). – Cognum Publishing House, 2024. – P. 198–207.

18. Mazurets O. An Approach to Using MobileNet CNN-model for Gesture Recognition / O. Mazurets, O. Zalutska, O. Tyschenko, A. Bohdanova // Problems of Science and Technology: the Search for Innovative Solutions: Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference (May 15–17, 2024, Munich, Germany). – 2024. – P. 59–64.

19. Posture Keypoints Detection - Photos & Labels [Електронний ресурс] // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/datasets/melsmm/posture-keypoints-detection/> (дата звернення: 06.04.2025).

References

1. Posture, ergonomics and muscular disorders [Електронний ресурс] / Claudia Aparecida Stefane [et al.] // I Congresso Internacional Multidisciplinar de Ciências da Saúde - I CIMS. – [S. l.], 2024. – DOI: <https://doi.org/10.56238/i-cims-016> (дата звернення: 05.04.2025).

2. Smart Sensing Chairs for Sitting Posture Detection, Classification, and Monitoring: A Comprehensive Review [Електронний ресурс] / David Faith Odesola [et al.] // Sensors. – 2024. – Vol. 24, no. 9. – P. 2940. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s24092940> (дата звернення: 05.04.2025).

3. Intelligent systems for sitting posture monitoring and anomaly detection: an overview [Електронний ресурс] / Patrick Vermander [et al.] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2024. – Vol. 21, no. 1. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01322-z> (date of access: 05.04.2025)

4. Hladun O. Metod neiomerezhevoho analizu videofiksatsii dii natovpu dlia vyznachennia psyhologichnykh ta sotsiokulturnykh kharakterystyk uhrupuvan [Електронний ресурс] / O. Hladun, O. Mazurets, O. Zalutska // Nauka i tekhnika sohodni. – 2025. – № 1(42). – DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1\(42\)-1068-1084](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1(42)-1068-1084) (дата звернення: 06.04.2025).

5. Alhorytm vyvavlennia abiuzyvnoho vmistu v ukrainomovnomu audiokontenti dlia implementatsii v ob'ektno-orientovanu informatsiinu systemu [Електронний ресурс] / Maryna Molchanova [et al.] // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria: Tekhnichni nauky. – 2024. – T. 331, № 1. – S. 101–106. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-17> (дата звернення: 06.04.2025).

6. Dydo R. Metod formuvannia audiopotoku z monitorynhu otokhuiuchoho seredovyscha zasobamy mashynnoho navchannia [Електронний ресурс] / R. Dydo, O. Sobko, O. Mazurets // Nauka i tekhnika sohodni. – 2025. – № 1(42). – DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1\(42\)-1148-1161](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1(42)-1148-1161) (дата звернення: 06.04.2025).

7. Ovcharuk O. Neiomerezheve diahnostuvannia proiaviv ptrs u tekstovomu kontenti z vykorystanniam pomylko-orientovanoho navchalnoho naboru danykh [Електронний ресурс] / O. Ovcharuk, O. Mazurets // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria: Tekhnichni nauky. – 2024. – T. 343, № 6(1). – S. 195–200. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-30> (дата звернення: 06.04.2025).

8. Mazurets O. Efficiency Research of Method for Detecting Mental Disorders by Analysis of User Content / O. Mazurets, O. Ovcharuk // Information Technology and Implementation (Satellite): Proceedings of the 11th International Conference (November 21, 2024, Kyiv, Ukraine). – 2024. – P. 46–47.
9. Molchanova M.O. Metod neiromerezhevoho vyivlennia kiberbulinhu z vykorystanniam khmarnykh servisiv ta ob'ektno-orientovanoi modeli / M. Molchanova, O. Mazurets, O. Sobko, V. Klimenko, V. Androshchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. – 2024. – № 2 (333). – S. 200–206. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2> (data zvernennia: 06.04.2025).
10. Hladun O. Real Time Detection the Person Emotion State Using Neural Network / O. Hladun, O. Mazurets, M. Molchanova, O. Sobko // Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference (November 25–27, 2024, Montreal, Canada). – 2024. – P. 119–123.
11. Yurchenko D. Approach to Using Cloud Services for Visual Analytics of Neural Network Analysis of Texts Emotional Tonality / D. Yurchenko, O. Mazurets, V. Didur, M. Molchanova // The Future of Scientific Discoveries: New Trends and Technologies: Proceedings of the XLVII International Scientific and Practical Conference (November 13–15, 2024, Marseille, France). – 2024. – P. 108–113.
12. Smart-Cover: A real time sitting posture monitoring system [Elektronnyi resurs] / Arif Reza Anwarly [et al.] // Sensors and Actuators A: Physical. – 2021. – Vol. 317. – P. 112451. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112451> (data zvernennia: 05.04.2025).
13. Gelaw T. Posture Prediction for Healthy Sitting Using a Smart Chair [Elektronnyi resurs] / Tariku Adane Gelaw, Misgina Tsighe Hagos // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. – Cham, 2022. – P. 401–411. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93709-6_26 (data zvernennia: 05.04.2025).
14. A Scene Recognition and Semantic Analysis Approach to Unhealthy Sitting Posture Detection during Screen-Reading [Elektronnyi resurs] / Weidong Min [et al.] // Sensors. – 2018. – Vol. 18, no. 9. – P. 3119. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s18093119> (data zvernennia: 05.04.2025).
15. Zharnovskiy O. Praktychna realizatsiia metodu identyfikatsii zghenerovanykh shtuchnym intelektom zobrazen liudei zasobamy mashynnoho navchannia / O. Zharnovskiy, Ya. Kazmirchuk, O. Sobko, O. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy XVI Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Aktualni problemy kompiuternykh nauk APKN-2024». – 2024. – Khmelnytskyi. – S. 198–204.
16. Pokhytun A. Method for Neural Network Detecting Changed Images of Peoples Faces Using CNN / A. Pokhytun, O. Mazurets, M. Molchanova, O. Tyschenko // New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. – 2024. – Marseille, France. – Pp. 35–40.
17. Mazurets O. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones / O. Mazurets, V. Klimenko, M. Molchanova, A. Sultanov // Global Science: Prospects and Innovations: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference (2024, Liverpool, United Kingdom). – Cognum Publishing House, 2024. – P. 198–207.
18. Mazurets O. An Approach to Using MobileNet CNN-model for Gesture Recognition / O. Mazurets, O. Zalutska, O. Tyschenko, A. Bohdanova // Problems of Science and Technology: the Search for Innovative Solutions: Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference (May 15–17, 2024, Munich, Germany). – 2024. – P. 59–64.
19. Posture Keypoints Detection - Photos & Labels [Elektronnyi resurs] // Kaggle. – Rezhym dostupu: <https://www.kaggle.com/datasets/melsmm/posture-keypoints-detection/> (data zvernennia: 06.04.2025).