

УДК 004.8

Мізін Д.В., Мазурець О.В.

Хмельницький національний університет

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПІДХІД ДО РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК АУТИЗМУ ЗА ФОТОЗОБРАЖЕННЯМ

У роботі запропоновано нейромережевий підхід до раннього виявлення ознак розладів аутичного спектра за статичними фотозображеннями облич дітей. Архітектура базується на моделі Vision Transformer, донавченій за схемою transfer learning на спеціалізованому датасеті, з використанням розширеного препроцесингу та аугментацій для нормалізації умов зйомки й часткової компенсації класового дисбалансу. Ключовою особливістю є інтеграція піксельних ознак із морфометричними характеристиками, обчисленими за facial-landmarks MediaPipe Face Mesh, що дає змогу побудувати інтерпретовану ознакову модель ризику. Запропонований підхід розглядається як допоміжний скринінговий інструмент, що доповнює, але не замінює клінічну діагностику, та може бути покладений в основу цифрових сервісів первинного відбору пацієнтів.

This paper presents a neural network-based approach to early detection of autism spectrum disorder markers from static facial photographs of children. The proposed architecture is built upon a Vision Transformer model fine-tuned via transfer learning on a specialised facial image dataset, combined with extensive preprocessing and augmentation to normalise imaging conditions and partially address class imbalance. A key feature is the integration of pixel-level representations with morphometric characteristics derived from MediaPipe Face Mesh facial landmarks, enabling an interpretable risk-oriented feature space. The approach is positioned as an auxiliary screening tool that complements, rather than replaces, clinical diagnosis and can underpin scalable digital services for preliminary risk assessment.

Розлади аутичного спектра належать до групи нейророзвиткових порушень [1], для яких раннє виявлення є критично важливим з огляду на ефективність корекційних програм, подальшу соціалізацію та якість життя дитини [2]. Традиційні підходи до діагностики ґрунтуються на клінічних інтерв'ю, анкетуванні та тривалому поведінковому спостереженні [3], що потребує значних ресурсів, участі висококваліфікованих фахівців і часто призводить до пізнього встановлення діагнозу. На тлі розвитку методів комп'ютерного зору й глибинного навчання зростає інтерес до недорогих, масштабованих і неінвазивних скринінгових рішень, які використовують фотозображення облич як джерело фенотипічної інформації про потенційні ознаки розладів аутичного спектра.

Раннє виявлення ознак аутизму є надзвичайно актуальною проблемою сучасної медицини та психоневрології, оскільки своєчасна діагностика значно підвищує ефективність корекційних програм та соціальної інтеграції дітей із цим станом [4]. Традиційні методи оцінювання часто залежать від суб'єктивних спостережень фахівців і стандартизованих психологічних тестів, що ускладнює раннє виявлення, особливо на стадіях, коли симптоми є мінімально вираженими або мають нечітку зовнішню проявність. У цьому контексті комп'ютерне зір [5] і нейромережеві методи [6, 7] відкривають нові перспективи для об'єктивного аналізу візуальної інформації, що містить сигнали ранніх проявів аутизму, таких як міміка, погляд, жестикуляція, поведінкові патерни у побутових умовах.

Сучасні конволюційні нейронні мережі [8] здатні ефективно виділяти локальні та глобальні ознаки зі складних візуальних даних [9], стійкі до шумів і змінних умов освітлення [10], що характерні для побутових фотозображень. Адаптивні конвеєри обробки зображень [11], які враховують показники якості, такі як різкість, контраст, експозиційна збалансованість і рівень фонових завад, дозволяють оптимізувати процес тренування моделей, підвищуючи точність класифікації навіть при наявності спотворених або частково некоректних даних [12, 13]. Поєднання базових архітектур CNN із модулями донавчання на очищених і сирих датасетах забезпечує більш гнучке узагальнення патернів [14] і зменшує вплив артефактів та шумів на рішення моделі [15].

Важливим аспектом є модульна побудова системи, яка дозволяє інтегрувати попередню обробку зображень, навчальні контури, оцінку якості та прикладні інтерфейси для інтерактивного тестування [16]. Такий підхід відкриває можливості для впровадження нейромережевих рішень [17] у практику медичного скринінгу та досліджень, де потрібно автоматизовано оцінювати численні візуальні параметри, що корелюють із ризиком розвитку аутизму. Подальший розвиток включає вдосконалення механізмів пояснюваності рішень моделей, інтеграцію з мультимодальними даними, такими як відео та аудіо, а також створення адаптивних систем, що здатні навчатися на нових даних без повного перенавчання, що суттєво підвищує їхню практичну цінність.

Метою роботи є розроблення нейромережевого підходу до раннього виявлення ознак аутизму за статичними фотозображеннями облич із фокусом на пояснюваності результатів та прогнозуванні ступеня ризику, а не лише бінарній класифікації «аутизм / не аутизм». Об'єктом дослідження виступає процес автоматизованого виявлення ризику розладів аутичного спектра за зображеннями облич, а предметом – нейромережеві моделі та методи мультимодального аналізу статичних зображень, що поєднують піксельні ознаки з морфометричними характеристиками краніофасіальної області.

Поставлена мета досягається шляхом побудови гібридної архітектури, ядром якої є трансформерна модель Vision Transformer (ViT), донавчена на спеціалізованому датасеті зображень облич дітей з аутизмом і без нього. Використовується схема transfer learning: попередньо натреновані шари ViT адаптуються до домену за рахунок донавчання на маркованому наборі Autism Spectrum Detection (Kaggle + Zenodo), що забезпечує узагальнення на реалістичних даних за умов обмеженого обсягу клінічно релевантних зображень. Додатково реалізовано препроцесинг і аугментацію даних, спрямовані на нормалізацію освітлення, масштабів та варіативності пози обличчя, а також на часткову компенсацію класового дисбалансу.

Ключовою відмінністю підходу є інтеграція піксельної репрезентації з морфометричним аналізом facial-landmarks. Для цього застосовується модель MediaPipe Face Mesh, що відтворює густу сітку орієнтирів обличчя та дозволяє сформувати вектор антропометричних показників: співвідношення вертикальних і горизонтальних сегментів, оцінку симетрії, просторове положення очей, ротової щілини, носо-губного трикутника й контурів нижньої щелепи. Отримані морфометричні індекси зіставляються з картами внутрішньої уваги трансформера [18], що дає змогу пов'язати зони, на які «звертає увагу» модель, із фенотипічно осмисленими краніофасціальними структурами. Таким чином формується узагальнений вектор морфологічно-візуальних ознак, що використовується як основа для інтерпретації нейромережевих рішень.

Для забезпечення пояснюваності результатів класифікації запропоновано пояснювальний модуль на основі мовної моделі типу T5, який перетворює числові характеристики морфометричних індексів та просторовий розподіл уваги ViT у короткі текстові пояснення. Ці пояснення формуються в нейтральній, недіагностичній формі й описують, які області обличчя та які структурні співвідношення були найбільш релевантними для підвищення чи зниження прогнозованого ризику. Така інтеграція карт уваги, лендмарків і генеративної мовної моделі створює багаторівневий механізм інтерпретації, який робить роботу класифікатора прозорою для фахівця й може використовуватися як допоміжний інструмент при прийнятті клінічних рішень.

Експериментальна частина підходу передбачає донавчання ViT на розділених на навчальну, валідаційну та тестову підвибірках даних з використанням класичних показників ефективності: точності, повноти, прецизійності, F1-міри та аналізу матриці неточностей. Окрему увагу приділено характеру помилок класифікації, зокрема випадкам хибнонегативних рішень, які є критичними для скринінгових сценаріїв.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні трансформерної класифікації зображень облич із детальним морфометричним аналізом facial-landmarks та автоматизованою генерацією пояснень рішень. На відміну від традиційних підходів, що обмежуються бінарною класифікацією та непрозорими картами уваги, запропонований нейромережевий підхід орієнтований на прогнозування ступеня ризику, забезпечує інтерпретованість на рівні антропометричних індикаторів і може бути інтегрований у скринінгові системи як допоміжний інструмент для раннього виявлення ознак аутизму. Його практичне значення полягає у створенні передумов для недорогих і масштабованих цифрових сервісів первинного скринінгу, які доповнюють, але не замінюють клінічну діагностику, з урахуванням етичних вимог до опрацювання персональних зображень дітей.

Перелік посилань

1. Autism. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
2. A Validation Study of the CARS-2 Compared With the ADOS-2 in the Diagnosis of Autism Spectrum Disorder: A Suggestion for Cutoff Scores / S.-I. Ji et al. Journal of the Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry. 2023. Vol. 34, no. 1. P. 45–50.
3. Kangarani-Farahani M., Malik M. A., Zwicker J. G. Motor Impairments in Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review and Meta-analysis. Journal of Autism and Developmental Disorders. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s10803-023-05948-1>
4. Koehler J. C., Falter-Wagner C. M. Digitally assisted diagnostics of autism spectrum disorder. Frontiers in Psychiatry. 2023. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1066284>
5. Мазурець О.В., Жарновський О.В., Гладун О.В., Собко О.В. Нейромережеве виявлення фейкових зображень людей. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2025. №5. Т.1. С. 416-422.
6. Молчанова М.О., Мазурець О.В., Шурипа М.О. Об'єктно-орієнтований підхід до нейромережевого виявлення та відстеження БПЛА з використанням хмарних технологій. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №9 (50). С. 1346-1360.
7. Мазур Є.В., Мазурець О.В., Кліменко В.І., Собко О.В., Залуцька О.О. Алгоритми та програмна архітектура інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2025. №3. Т.1. С. 275-284.
8. Kok I.A., Kadyńska V.D., Zalutka O.O., Mazurets O.V. Object-Oriented Intelligent System for Automated Control of Smoking by Video Data. Current scientific goals, approaches and challenges. Proceedings of IV International Scientific and Theoretical Conference. June 13, 2025. Dresden, Federal Republic of Germany. Pp. 156-164.
9. Bas I.S., Kadyńska V.D., Klimenko V.I., Mazurets O.V. Convolutional Neural Network Transfer Learning Method for Aircraft Image Classification. Scientific method: reality and future

- trends of researching. Proceedings of VI International Scientific and Theoretical Conference. June 6, 2025. Montreal, Canada. Pp. 147-155.
10. Mushtyn O., Sobko O., Molchanova M., Mazurets O. Convolutional Neural Network Architecture for Image-Based Architectural Style Recognition. *Evolving Science: Theories, Discoveries and Practical Outcomes. Proceedings of 4th International Scientific and Practical Conference.* June 9-11, 2025. Zurich, Switzerland. Pp. 130-143.
11. Malaydakh V., Molchanova M., Shevchuk P., Mazurets O. Deep learning neural network architecture for determining sunflower growth stage from visual data. *Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference.* May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 143-148.
12. Ostapchenko N., Tyschenko O., Denysenko B., Mazurets O. Semantic search of relevant images using vector databases. *Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference.* May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 161-165.
13. Dydo R., Sobko O., Klimenko V., Mazurets O. Datalogic structure for intelligent system for areas localization in photos with the remains of buildings using neural network. *Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference.* May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 123-127.
14. Didur V., Molchanova M., Mazurets O. Research on the effectiveness of neural network detection of plots with the destroyed buildings remains. *Modern technologies and science: problems, new and relevant developments. Proceedings XXI International Scientific and Practical Conference.* May 26, 2025. Zaragoza, Spain. Pp. 245-251.
15. Hladun O.V., Molchanova M.O., Zalutska O.O., Mazurets O.V. Effectiveness research of using ViT neural network architecture for classifying the destroyed buildings remains. *Achievements of Science and Applied Research. Proceedings of 2nd International Scientific and Theoretical Conference.* May 19-21, 2025. Dublin, Ireland. Pp. 96-100.
16. Дидо Р.А., Мазурець О.В. Метод ідентифікації особистості на основі розпізнавання обличчя в реальному часі для систем кібербезпеки. Інформаційна, функційна і кібербезпека СКІФіК2024. Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції. 29-30 листопада 2024. Харків. 2024. с. 36-37.
17. Похитун А.В., Мазурець О.В., Молчанова М.О., Бармак О.В. Підхід до формування датасету для нейромережевого виявлення модифікованих фотографій обличчя людей. Збірник наукових праць за матеріалами XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024». 15-16 листопада 2024. Хмельницький, 2024. с. 428-433.
18. Zharnovskiy O., Mazurets O., Sobko O. Approach to Identification of Artificial Intelligence-Generated People Images by Means of Machine Learning. *Key Aspects of the Development of Scientific Research in Modern Conditions. Proceedings of the XLV International scientific and practical conference.* October 30 – November 1, 2024. Constanta, Romania. 2024. Pp. 69-73.