
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.92

О.Н. РОМАНЮК, В.С. ПАВЛОВ, Н.В. ТІТОВА,
С.О. РОМАНЮК, В.П. МАЙДАНЮК

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОГАРНІТУР ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ

*Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, 21021, Вінниця, Україна,
e-mail: rom8591@gmail.com*

Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1 65044, м. Одеса, Україна

Анотація. У статті висвітлено сучасні підходи до використання нейрогарнітур у діагностиці психоневрологічних захворювань, серед яких депресія, тривожні стани, епілепсія, шизофренія, хвороба Паркінсона та хвороба Альцгеймера. Основна увага зосереджена на реєстрації та аналізі електроенцефалографічних сигналів, які забезпечують неінвазивну оцінку функціонального стану головного мозку. Розкрито значення ритмічної активності різних частотних діапазонів — зокрема альфа-, бета-, тета- і дельта-хвиль — як маркерів певних розладів. Показано, що при депресії типово спостерігається зниження альфа-активності у лівій лобовій корі, а при тривожних розладах — підвищення високочастотної бета-активності. Проаналізовано зміни у спектральному складі сигналів при епілепсії, зокрема вогнищеві збурення та пароксизмальні комплекси, які можна реєструвати за допомогою нейрогарнітур у клінічних або домашніх умовах. У статті також наводиться інформація щодо зменшення когерентності та варіативності EEG-сигналів при хворобі Альцгеймера та змін електричної активності у пацієнтів з хворобою Паркінсона. Значна увага приділена можливості використання нейрофідбек-технологій у рамках когнітивної та повсякденної реабілітації, що базуються на активному контролі пацієнтом власних електрофізіологічних реакцій. Наголошено на практичній доцільності використання нейрогарнітур для початкового скринінгу стану пацієнта, моніторингу динаміки лікування та оцінювання ефективності психотерапевтичних і фармакологічних підходів. У підсумку зроблено висновок, що нейрогарнітури відкривають нові можливості для швидкої, безпечної та економічно доступної діагностики розладів нервової системи у широкому колі пацієнтів різного віку.

Ключові слова: нейрогарнітури, електроенцефалографія, психоневрологічні розлади, депресія, тривожні стани, нейрофідбек, функціональна діагностика

Abstract. The article highlights modern approaches to the use of neuroheadsets in the diagnosis of psychoneurological diseases, including depression, anxiety disorders, epilepsy, schizophrenia, Parkinson's disease, and Alzheimer's disease. The main focus is on the registration and analysis of electroencephalographic signals, which provide a non-invasive assessment of the functional state of the brain. The significance of rhythmic activity of various frequency ranges — in particular, alpha, beta, theta, and delta waves — as markers of certain disorders is revealed. It is shown that depression typically exhibits a decrease in alpha activity in the left frontal cortex, and anxiety disorders typically exhibit an increase in high-frequency beta activity. Changes in the spectral composition of signals in epilepsy are analyzed, in particular, focal disturbances and paroxysmal complexes, which can be recorded using neuroheadsets in clinical or home conditions. The article also provides information on the reduction of coherence and variability of EEG signals in Alzheimer's disease and changes in electrical activity in patients with Parkinson's disease. Considerable attention is paid to the possibility of using neurofeedback technologies within the framework of cognitive and everyday rehabilitation, which are based on the patient's active control of their own electrophysiological reactions. The practical feasibility of using neuroheadsets for the initial screening of the patient's condition, monitoring the dynamics of treatment and assessing the effectiveness of psychotherapeutic and pharmacological approaches is emphasized. As a result, it is concluded that neuroheadsets open up new opportunities for rapid, safe and economically accessible diagnostics of nervous system disorders in a wide range of patients of different ages.

Keywords: neuroheadsets, electroencephalography, neuropsychological disorders, depression, anxiety states, neurofeedback, functional diagnostics

DOI: 10.31649/1681-7893-2025-49-1-168-177

© О.Н. РОМАНЮК, В.С. ПАВЛОВ, Н.В. ТІТОВА, С.О. РОМАНЮК, В.П. МАЙДАНЮК, 2025

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ВСТУП

Використання нейрогарнітур [1-7] у медичній діагностиці набуває дедалі більшої актуальності завдяки інтеграції досягнень нейронаук, біоінженерії та цифрових технологій. З огляду на стрімке зростання кількості пацієнтів із неврологічними та психічними розладами — зокрема хворобою Альцгеймера, Паркінсона, епілепсією, депресією та тривожними станами — виникає потреба у нових методах раннього виявлення порушень мозкової діяльності. Сучасні нейрогарнітури [8-14], що працюють на основі електроенцефалографічного моніторингу, забезпечують оперативну реєстрацію мозкових сигналів без інвазивного втручання й складного лабораторного обладнання. Завдяки вдосконаленню бездротових технологій, зменшенню габаритів пристроїв та використанню інтелектуальних алгоритмів обробки даних, ці системи стають доступними не лише для дослідницьких цілей, а й у повсякденній медичній практиці. Їхня значущість зростає і в контексті домашнього моніторингу, що відповідає концепції індивідуалізованого підходу до охорони здоров'я. Крім того, здатність нейрогарнітур фіксувати специфічні візерунки електричної активності мозку, характерні для окремих захворювань, сприяє підвищенню точності діагностики. У рамках цифрової еволюції медицини такі пристрої слугують основою для побудови телемедичних рішень, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень і нейроінтерфейсів нового покоління, забезпечуючи прогрес у галузі діагностики, скринінгу та реабілітації.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Нейрогарнітура [6, 7, 11] є високотехнологічним пристроєм, призначеним для безконтактного вимірювання електричної активності головного мозку за допомогою датчиків, розташованих на поверхні голови. Її функціонування базується на електроенцефалографічному принципі, що дозволяє фіксувати незначні електричні імпульси, які утворюються в результаті роботи нейронів. Після зчитування сигнали проходять етапи підсилення, цифрової фільтрації та обробки за допомогою програмних засобів. Конструктивно такі пристрої можуть містити від одного до кількох десятків каналів, що визначає їхню чутливість і можливі сфери використання. Нейрогарнітури активно застосовуються в дослідженнях мозкової активності, у терапевтичних методах зворотного біологічного зв'язку, у розробці систем керування пристроями силою думки (BCI), а також у навчальному та клінічному середовищі. Зі зростанням точності сенсорів, удосконаленням алгоритмів аналізу сигналів та розвитком бездротових технологій такі пристрої стають усе більш доступними для широкого кола користувачів.

Зовнішній вигляд гарнітури залежить від її класу та складності передбачуваного використання (рис. 1). Професійні – дають набагато більшу точність, але виглядають не так естетично.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд гарнітур: а – споживчого класу; б – лабораторного рівня; в - професійна або лабораторна ЕЕГ гарнітура для досліджень

Розвиток мікроелектронної техніки призвів до того, що сучасні електроенцефалографи є апаратно-програмними комплексами, які дозволяють якісно зареєструвати ЕЕГ сигнал та опрацювати його потужними математичними методами. Математико-статистичні методи аналізу дають змогу дати точну чисельну оцінку параметрам ЕЕГ, встановити закономірності узгодженості сигналу ЕЕГ у просторі і часі. Новітні математичні методи дозволяють робити висновки щодо локалізації у глибині

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

мозку різних компонентів його активності, що має неабияке значення в першу чергу при клінічній діагностиці вогнища захворювання.

Реєстрація і аналіз ЕЕГ у сучасній науці і клініці здійснюється за допомогою комп'ютерних електроенцефалографічних комплексів, які складаються із кількох функціональних блоків [11]:

- блок реєстрації сигналу;
- блок фільтрів та підсилювачів;
- аналогово-цифровий перетворювач (АЦП);
- інтерфейсний блок;
- комп'ютер та програмне забезпечення для зберігання, візуалізації та математичного аналізу сигналу.

В електроенцефалографії використовують металеві електроди з хлорсрібним покриттям. Електроди бувають сухі (без гелю) або вологі (з використанням гелю для зменшення опору).

Основні схеми вимірювання сигналу ЕЕГ [11]:

- монополярна схема: Вимірювання проводиться між однією активною точкою на поверхні скальпу та індиферентною точкою, зазвичай мочкою 8 вуха або сумарним електродом, який є узагальненим відведенням від усіх електродів на скальпі.
- біполярна схема: Ця схема вимірює різницю потенціалів між двома електродами, розташованими безпосередньо над мозком. Такий підхід дозволяє виявити електричні відмінності між різними частинами мозку, що особливо корисно для ідентифікації місцевих аномалій у мозковій активності (рис. 2).

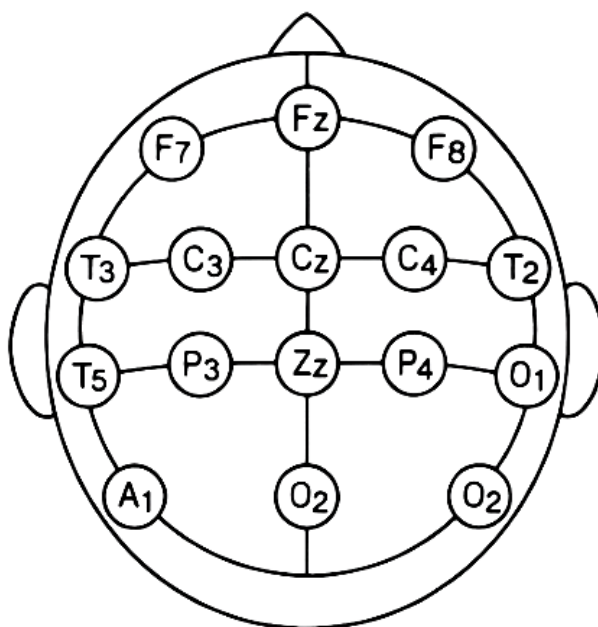


Рисунок 2 – Схеми відведень ЕЕГ

На рисунку 1 представлено стандартну схему [2, 4, 9] електродного розташування для електроенцефалографії — міжнародну систему 10–20, яка застосовується для точного й відтворюваного встановлення електродів на поверхні голови. Ця методика базується на вимірюванні відстаней між основними орієнтирами черепа — носом, потилицею, вухами та тім'яною частиною — і встановленні електродів на 10% або 20% від цих відстаней. Кожен електрод позначено буквено-цифровим кодом: літери вказують на зони мозку — F (лобова), T (скронева), C (центральна), P (тім'яна), O (потилична), а цифри — на півкулю: непарні — ліва, парні — права. Позначення з літерою Z використовуються для електродів, розміщених уздовж умовної серединної лінії (наприклад, Fz, Cz, Pz). Електроди A1 і A2 фіксуються біля вушних раковин і слугують референтними або нейтральними. Центральні точки, такі як Cz, займають ключові позиції для контролю активності в сенсомоторній зоні. Завдяки цій схемі забезпечується рівномірне охоплення електродами кори головного мозку, що дозволяє ефективно виявляти функціональні зміни та локалізовані патології — зокрема, при розладах сну, епілепсії, тривожних або депресивних станах [2]. Система 10–20 уніфікована на міжнародному рівні, що сприяє узгодженості даних між різними медичними установами та науковими центрами.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Нейрогарнітури функціонують на основі кількох фундаментальних фізичних принципів [3], з яких найпоширенішим є ЕЕГ. Цей метод ґрунтується на реєстрації слабких електричних сигналів, що виникають у корі головного мозку внаслідок синхронної активності нейронів. Такі сигнали мають дуже малу амплітуду — у межах десятків мікрвольт — і охоплюють частотний діапазон від долей герца до сотень герц. Електроди, закріплені на шкірі голови, вловлюють ці коливання та передають їх на обчислювальні модулі для подальшого аналізу. У деяких експериментальних або дослідницьких нейроінтерфейсах також використовуються інші фізичні явища. Наприклад, магнітоенцефалографія базується на законі індукції Фарадея і дозволяє реєструвати магнітні поля, що генеруються електричними струмами в нейронах, хоча через складність і вартість її застосування обмежене. Іншим підходом є спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону, що вимірює зміни в поглинанні інфрачервоного світла тканинами голови, пов'язані з рівнем насичення крові киснем, і таким чином непрямо оцінює мозкову активність. У низці моделей нейрогарнітур також використовується оцінка електричного імпедансу тканин, що реагує на зміни кровообігу та фізіологічного стану. Крім того, в оптичних сенсорах застосовується фотоелектричний ефект, що дає змогу перетворювати світлове випромінювання у вимірюваний електричний сигнал. Загалом, основним фізичним принципом у нейрогарнітурах залишається біоелектрична активність головного мозку, яку references

Сітовий ринок нейрогарнітур [3, 16] демонструє стійке зростання, зумовлене розвитком технологій, поширенням нейронауки та підвищеним попитом на пристрої для моніторингу мозкової активності в медицині, освіті та споживчому секторі. За оцінками дослідницької компанії Grand View Research, у 2024 році глобальний ринок носимих ЕЕГ-гарнітур (електроенцефалографічних пристроїв) досягнув 134,7 млн доларів США, а до 2030 року прогнозується його зростання до 244,9 млн доларів із середньорічним темпом (CAGR) на рівні 10,4%. Особливий інтерес викликає сегмент бездротових ЕЕГ-гарнітур, де річний обсяг уже у 2023 році становив понад 789 млн доларів США, а до 2030 року очікується зростання до 1,34 млрд доларів (CAGR близько 7,9%).

Важливою тенденцією є розвиток імплантованих VCI-технологій — компанії на кшталт Neuralink, Paradromics, Precision Neuroscience та Synchron активно просувають клінічні випробування з прямого з'єднання мозку з комп'ютером. Згідно з останніми оцінками, кількість встановлених імплантованих нейроінтерфейсів подвоїться впродовж наступного року. Їх використання розширюється від керування протезами до покращення мовлення, руху та навіть емоційної регуляції.

Таким чином, ринок нейрогарнітур і VCI-систем перебуває на етапі активного зростання з високим рівнем технологічної інноваційності. У найближче десятиліття очікується стрімке розширення комерційних застосувань як у медичній, так і в споживчій сферах. Це відкриває нові можливості для досліджень, стартапів і трансформації систем охорони здоров'я, освіти та людсько-комп'ютерної взаємодії.

Мета статті — аналіз використання галузей використання нейрогарнітур для діагностування захворювань.

2. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Діагностування хвороби Альцгеймера за допомогою нейрогарнітур [3, 8] базується на виявленні характерних змін у мозковій електричній активності, що виникають ще на ранніх стадіях захворювання. Хвороба Альцгеймера супроводжується поступовим руйнуванням нейронних зв'язків, що проявляється у сповільненні мозкової активності. Типовими ЕЕГ-ознаками при цьому є зменшення потужності альфа-ритму (8–12 Гц), який у нормі домінує в стані спокою, і збільшення активності повільніших хвиль — тета (4–7 Гц) і дельта (0,5–3 Гц). Ці зміни особливо помітні в тім'яних і скроневих ділянках, які першими уражаються при хворобі Альцгеймера. Крім того, зменшується когерентність між зонами мозку — тобто слабшає узгодженість між сигналами різних ділянок, що вказує на погіршення інтеграції інформації в мозку. Нейрогарнітури дають змогу виконати попередній скринінг когнітивних порушень без необхідності повноформатної лікарняної апаратури. Під час тестування пацієнт виконує прості когнітивні завдання або перебуває в стані спокою з відкритими та закритими очима, а нейрогарнітура записує ЕЕГ-сигнали. Програмне забезпечення виконує спектральний аналіз, обчислює співвідношення тета/альфа, частотну симетрію, когерентність і топографічний розподіл ритмів [3].

Таким чином, нейрогарнітури дозволяють провести швидкий, безпечний і доступний скринінг когнітивних функцій, виявити початкові електрофізіологічні ознаки хвороби Альцгеймера [8] та спрямувати пацієнта на більш глибоке обстеження. Такий підхід особливо важливий на ранніх стадіях, коли клінічні симптоми ще не виражені, але мозок вже демонструє відхилення у своїй електричній активності.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Діагностування хвороби Паркінсона за допомогою нейрогарнітур [3, 10] базується на виявленні змін у мозковій електричній активності, пов'язаних із порушенням роботи дофамінергічної системи та моторного контролю. Нейрогарнітури, що зчитують EEG-сигнали, дозволяють зафіксувати характерні ритмічні та просторові аномалії, які супроводжують це нейродегенеративне захворювання навіть на початкових стадіях.

Основною особливістю електроенцефалографічної активності при хворобі Паркінсона є зниження потужності бета-ритму (13–30 Гц), який у здорових людей домінує під час рухової активності та концентрації. У пацієнтів з Паркінсоном спостерігається гіпоактивація моторних зон кори (особливо у центральних ділянках — електроди Cz, C3, C4), що пов'язано з порушенням генерації рухових імпульсів. Одночасно відмічається підвищення тета- (4–7 Гц) та дельта-активності (0,5–3 Гц), що свідчить про загальне уповільнення нейронної обробки [10]. Ще однією характерною ознакою є зниження функціональної когерентності між лобовими та моторними зонами, а також дисбаланс у ритмах півкуль, що порушує інтеграцію сенсорної та моторної інформації. У багатьох випадках EEG-сигнали демонструють знижену варіативність і тенденцію до ригідності частотної структури, що корелює з клінічною симптоматикою — сповільненням рухів, тремором, порушенням автоматизованої моторики.

Для діагностування хвороби Паркінсона за допомогою нейрогарнітури пацієнт зазвичай проходить протокол з виконанням рухових або когнітивно-моторних завдань, під час яких реєструється мозкова активність. Такі завдання можуть включати уявлення руху контроль рухів очей або дотик до цілей. Під час виконання аналізується, чи відповідає моторна активація очікуваному EEG-профілю.

Програмне забезпечення нейрогарнітур (наприклад, OpenBCI, NeuroPype, EmotivPRO) виконує спектральний аналіз, обчислює індекси функціональної активності, а також може застосовувати нейронні мережі, натреновані для виявлення Паркінсон-подібних змін [3, 7, 10].

Таким чином, нейрогарнітури не заміняють повноцінної клінічної діагностики хвороби Паркінсона, однак вони можуть використовуватись як додатковий інструмент для раннього виявлення, моніторингу прогресу захворювання, а також для нейротренінгу або біозворотного зв'язку при реабілітації. Вони особливо корисні у дослідницьких і телемедицинських умовах, де потрібне швидке, неінвазивне та портативне оцінювання моторної функції мозку [3, 10].

Діагностування епілепсії за допомогою нейрогарнітур [3, 9] ґрунтується на виявленні характерних патологічних електричних імпульсів мозку, які свідчать про гіперзбудливість нейронів. Нейрогарнітури, які реєструють електроенцефалографічні (EEG) сигнали, дозволяють виявити як міжприступну активність, так і потенційні зони виникнення нападів [9].

Основною ознакою епілепсії в EEG є пароксизмальні розряди, які можуть проявлятися як: спайки (гострі хвилі тривалістю менше 70 мс), спайк-хвильові комплекси (поєднання гострого імпульсу і повільної хвилі), пік-хвилі з частотою 3 Гц — типовий патерн при абсанс-епілепсії, поліспайкові розряди — при фокальних або генералізованих формах [9].

Під час міжприступного періоду ці сигнали можуть бути короткочасними й не супроводжуватись клінічними симптомами, але добре виявляються за допомогою чутливої EEG-реєстрації. Для фіксації активності використовуються багатоканальні нейрогарнітури з розміщенням електродів над лобовими, тім'яними, скроневими та потиличними ділянками.

У пацієнтів з епілепсією часто спостерігається підвищена активність у дельта- (0,5–3 Гц) і тета-діапазоні (4–7 Гц), зниження альфа-активності, а також аномальна синхронізація сигналів між ділянками кори головного мозку. При фокальній епілепсії локалізація розряду (наприклад, у скроневій зоні — T3, T4) дозволяє встановити вогнище ураження. При генералізованих формах патологічні сигнали реєструються симетрично в обох півкулях [3].

Також важливим є використання викликаних потенціалів — стимулювання зорової, слухової або сенсорної системи для провокації відповідей мозку, які можуть бути спотвореними у хворих на епілепсію [9].

Таким чином, нейрогарнітури можуть виконувати роль портативного EEG-моніторингу, що дозволяє [3]:

- виявити міжприступну активність у домашніх умовах;
- фіксувати провокаційні фактори (наприклад, при фотосенситивній епілепсії), ідентифікувати фокуси ураження для подальшого клінічного обстеження, контролювати ефективність лікування в динаміці.

Хоча діагноз "епілепсія" встановлюється лише лікарем-неврологом після клінічного й інструментального обстеження (відео-EEG, МРТ), нейрогарнітури є корисним інструментом для первинного виявлення патологічної активності, тривалого моніторингу, індивідуального прогнозу та телемедицини [3, 9].

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Діагностування шизофренії за допомогою нейрогарнітур [3] ґрунтується на аналізі електроенцефалографічної активності, що відображає порушення функціональної інтеграції мозку, асоційовані з когнітивними, емоційними та сенсорними розладами. Хоча шизофренія не має одного-єдиного EEG-патерну, дослідження показують наявність кількох характерних особливостей, які можуть бути виявлені нейрогарнітурами в поєднанні з відповідним програмним забезпеченням.

Найтиповішою особливістю EEG при шизофренії є зниження гамма-активності (30–100 Гц), яка відповідає за обробку складної інформації, сенсорну інтеграцію та формування свідомого досвіду. При цьому гамма-хвилі можуть бути знижені як у стані спокою, так і під час виконання когнітивних завдань, що свідчить про порушення нейронної синхронізації в корі головного мозку. Також часто спостерігається підвищення тета- (4–7 Гц) і дельта-активності (0,5–3 Гц) у фронтальних і скроневих ділянках, що вказує на уповільнення обробки інформації та дефіцит контролю уваги.

Ще одним ключовим маркером є зменшення когерентності між півкулями, особливо між лобовими та тім'яними зонами, що свідчить про порушення координації між різними мозковими центрами. У деяких пацієнтів також виявляють фронтальну десинхронізацію — зниження активності альфа-ритму (8–12 Гц) у лобових ділянках (F3, F4), яка корелює з негативними симптомами, такими як апатія, зниження мотивації та емоційна відчуженість. Нейрогарнітури, які підтримують багатоканальний запис EEG (наприклад, Neuroelectrics Enobio, OpenBCI, Emotiv Eroc X), дають змогу зафіксувати ці патерни під час виконання спеціальних тестів: когнітивних навантажень, задач на розпізнавання емоцій або реагування на звукові стимули. У цих умовах реєструються викликані потенціали, зокрема компоненти P300 або N100, які часто виявляються зниженої амплітуди або затримані у пацієнтів з шизофренією [3, 7]. Сучасне програмне забезпечення до нейрогарнітур застосовує алгоритми машинного навчання, які аналізують великі обсяги EEG-даних, шукають шаблони дизрегуляції мозкової активності та дозволяють будувати моделі диференційної діагностики. У дослідженнях на основі штучного інтелекту точність попереднього виявлення шизофренії за EEG-даними сягає 80–90%, особливо якщо аналізуються багатомірні індекси: спектральна потужність, когерентність, ентропія, варіабельність і нейронна складність.

Отже, нейрогарнітури не заміняють клінічного діагнозу, який має ставити психіатр на основі комплексної оцінки (анамнез, поведінка, психотичні симптоми), однак можуть бути корисними як інструмент для попереднього скринінгу, оцінки тяжкості когнітивного дефіциту, динамічного моніторингу лікування, а також дослідницької нейропсихіатрії. Їх застосування є перспективним у контексті персоналізованої медицини, телемоніторингу та розробки нових біомаркерів психічних розладів.

Діагностування депресії за допомогою нейрогарнітур [2, 3, 13] здійснюється на основі аналізу мозкової електричної активності, яка відображає функціональний стан кори головного мозку та особливості емоційної регуляції. Хоча депресія є клінічним діагнозом, що ґрунтується на симптомах і поведінці, нейрофізіологічні дані, зокрема EEG-патерни, дозволяють виявити об'єктивні біомаркери, які можуть бути зафіксовані за допомогою сучасних нейрогарнітур. Однією з найбільш відомих і стабільних особливостей є фронтальна альфа-асиметрія. У пацієнтів з депресією [2, 3] спостерігається зниження альфа-активності (8–12 Гц) у лівій лобовій ділянці мозку (електрод F3) порівняно з правою (F4), що свідчить про гіпоактивність лівої півкулі, відповідальної за позитивні емоції, мотивацію та соціальну ініціативу. Цей феномен відомий як індикатор пригніченого афекту. Водночас, у багатьох пацієнтів зростає бета-активність (13–30 Гц), особливо в центральних і лобових ділянках, що може свідчити про внутрішнє напруження, тривожність або румінації (нав'язливі думки) [2, 3].

Також в EEG при депресії спостерігаються підвищена тета-активність (4–7 Гц) у фронтальній корі та зниження когерентності між лобовими і тім'яними зонами, що може бути пов'язано з порушенням роботи виконавчих функцій, уваги та процесів прийняття рішень. При важких формах депресії з анедонією (втрата здатності відчувати задоволення) часто фіксується зниження варіативності EEG-сигналів, що вказує на загальну нейронну інертність [3]. Нейрогарнітури можуть використовуватись для неінвазивного запису EEG у домашніх або клінічних умовах. Пацієнту пропонується виконувати серію тестів (наприклад, слухові або візуальні стимули, когнітивні завдання), а система аналізує EEG-патерни в реальному часі. За допомогою програмного забезпечення обчислюється індекс депресивного спектру — за співвідношенням альфа/бета, ступенем фронтальної асиметрії та потужністю тета-активності. У багатьох системах також застосовуються алгоритми штучного інтелекту, які розпізнають патерни, пов'язані з афективними розладами, з точністю до 80–90% при використанні великих навчальних вибірок [2, 3]. Нейрогарнітури також використовуються у терапії депресії — зокрема для нейрофідбеку, коли пацієнт тренується "регулювати" власну мозкову активність у напрямку підвищення альфа-ритму або зниження асиметрії. Такі тренування можуть мати антидепресивний ефект, особливо при легких і середніх формах розладу.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Отже, хоча нейрогарнітури не замінюють клінічної діагностики депресії, вони забезпечують об'єктивний інструмент для скринінгу, нейрофізіологічного моніторингу, персоналізованого лікування та біологічного зворотного зв'язку. Їх застосування особливо доцільне у поєднанні з психотерапією, фармакотерапією та функціональною діагностикою.

Діагностування тривожних розладів за допомогою нейрогарнітур [4, 12, 13] базується на виявленні змін у електричній активності мозку, характерних для станів гіпервозбудження, підвищеної уваги до загроз і дисбалансу між зонами, що відповідають за контроль емоцій та раціональну оцінку. EEG (електроенцефалографія), яку зчитують нейрогарнітури, дозволяє об'єктивно фіксувати нейрофізіологічні ознаки тривоги навіть тоді, коли симптоми суб'єктивно слабо виражені або масковані.

Однією з ключових ознак тривожних розладів є підвищена бета-активність, особливо у високочастотному діапазоні (21–30 Гц), яка реєструється в лобових ділянках (F3, F4) та центральній корі. Цей ритм асоціюється з надмірним когнітивним контролем, тривожним очікуванням, гіперпильністю, румінаціями та складністю розслабитися. Високий рівень бета-ритму вказує на перезбудження симпатичної нервової системи та часто супроводжується соматичними симптомами — тахікардією, м'язовим напруженням, проблемами зі сном [4, 17, 18].

Ще однією характерною особливістю є зниження альфа-активності (8–12 Гц), особливо у стані спокою з закритими очима. У нормі альфа-хвилі вказують на стан розслаблення та внутрішньої стабільності. При тривожності їх потужність зменшується, а ритм стає нерегулярним, що свідчить про нездатність мозку перейти в режим відновлення. Часто виявляється порушення фронтальної асиметрії: наприклад, домінування альфа-активності у лівій півкулі (F3) над правою (F4) інтерпретується як схильність до уникнення, страху та пригнічення ініціативи. У пацієнтів із генералізованим тривожним розладом також спостерігається підвищена тета-активність (4–7 Гц) у фронтальних зонах, що пов'язано з розсіяною увагою, зниженим самоконтролем та внутрішнім перенапруженням. Крім того, знижується когерентність між фронтальними та тім'яними ділянками, що вказує на дезорганізацію роботи виконавчих функцій [4].

Нейрогарнітури [6], такі як Emotiv Epos X, Muse S, NeuroSky MindWave або Neuphony, здатні зчитувати ці сигнали в реальному часі та передавати їх на комп'ютер або смартфон. Програмне забезпечення проводить спектральний аналіз, вираховує індекси тривожності (наприклад, співвідношення бета/альфа), аналізує фронтальну асиметрію, когерентність і ритмічну стабільність. Сучасні алгоритми машинного навчання дозволяють системі автоматично ідентифікувати тривожні стани з точністю до 80–90% за накопиченою базою патернів. Такі методи застосовуються як для попереднього скринінгу, так і для біозворотного зв'язку, де пацієнт навчається впливати на свою мозкову активність і поступово знижувати бета-ритми, посилювати альфа та відновлювати саморегуляцію.

Таким чином, діагностика тривожних розладів за допомогою нейрогарнітур дозволяє об'єктивно оцінити ступінь нейрофізіологічної дезрегуляції, визначити тип тривоги (реактивна, генералізована, соматизована), відстежити динаміку стану в часі та підібрати персоналізовану терапію, яка враховує не лише поведінкові симптоми, а й біоелектричний стан мозку.

Нейрогарнітури активно використовують у нейрофідбек-терапії та зоровому нейротренуванні, особливо у випадках, коли порушення зору мають функціональний або нейропсихологічний характер. Це стосується таких станів, як амбліопія, порушення контролю зорової уваги, деякі види косоокості або втрата зорових функцій після інсульту чи черепно-мозкових травм. Наприклад, при амбліопії нейрогарнітура реєструє електричну активність мозку під час виконання спеціальних візуальних завдань. Пацієнту демонструються зображення, які стимулюють роботу слабшого ока, і якщо активність у потиличній ділянці мозку (де обробляється зоровий сигнал) відповідає правильній реакції, система надає позитивний зворотний зв'язок — це може бути візуальний, аудіальний або ігровий стимул. Така терапія сприяє формуванню нових нейронних зв'язків та покращенню зорового сприйняття. У дітей із синдромом дефіциту уваги або після травм часто виникає порушення візуального фокусування та слідування очима, що також коригується за допомогою нейрогарнітури: пацієнт тренується утримувати увагу на об'єктах, і коли система фіксує зниження активності у відповідних зонах мозку, вона сигналізує про необхідність зосередження. Таким чином розвивається зорово-моторна координація. У випадках косоокості або порушень бінокулярного зору використовують принцип зорового нейропереключення — тобто пацієнт виконує вправи, що стимулюють мозок інтегрувати зображення з обох очей. Усе це супроводжується моніторингом EEG і поступовою перебудовою зорової обробки. Також нейрогарнітури використовуються у станах стресу або психоемоційного перенапруження, коли звужується периферійний зір або знижується чіткість сприйняття через напруження центральної нервової системи. У таких випадках застосування нейрогарнітур, що спрямовані на релаксацію (наприклад Muse або Neuphony), сприяє зниженню тривожності, розширенню поля зору та покращенню зорової чутливості.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Отже, нейрогарнітури не замінюють офтальмологічного лікування, але є ефективним інструментом у реабілітації, тренуванні зорової уваги та відновленні зору у випадках, де ключову роль відіграє мозкова обробка зорової інформації. Їх особливо доцільно застосовувати в поєднанні з офтальмотерапією, віртуальною реальністю та нейропсихологічним супроводом.

ВИСНОВКИ

Сучасні нейрогарнітури на основі ЕЕГ-технологій відкривають нові можливості для виявлення психоневрологічних порушень, таких як депресія, тривожні стани, епілепсія, хвороба Паркінсона, Альцгеймера та шизофренія. Вони дають змогу швидко, безболісно та економічно ефективно оцінити функціональний стан мозку без потреби у складному медичному обладнанні. Завдяки розвиненим алгоритмам аналізу біоелектричних сигналів можна точно виявляти нейрофізіологічні зміни, характерні для окремих розладів. Широке поширення бездротових пристроїв робить їх зручними для використання як у клінічному середовищі, так і вдома. Крім того, нейрогарнітури активно застосовуються в реабілітаційних програмах із нейрофідбеком для корекції психічного стану. Загалом, ці пристрої мають значний потенціал для інтеграції в персоналізовану медицину та телемоніторинг.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Thibault, R. T., Lifshitz, M., Birbaumer, N., & Raz, A. (2020). Neurofeedback, self-regulation, and brain imaging: Clinical science and fad in the service of mental disorders. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 89(4), 193–207. <https://doi.org/10.1159/000506832>
2. Bekkedal, M. Y. V., Rossi, J. S., Panksepp, J., & Davis, M. (2021). EEG asymmetry in major depressive disorder: State, trait, or artifact? *Biological Psychology*, 162, 108093. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108093>
3. Tavakoli, H., & Motiei-Langroudi, R. (2023). Clinical application of wearable EEG devices in neuropsychiatric disorders: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1122334. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1122334>
4. Mehta, R., Bajaj, H., & Roy, D. (2022). Machine learning for mental health in neurophysiology: EEG-based classification of anxiety and depression. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 980–991. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3170198>
5. Krigolson, O. E. (2018). Event-related brain potentials and the study of decision making: A brief review. *Brain Sciences*, 8(8), 132. <https://doi.org/10.3390/brainsci8080132>
6. Casson, A. J. (2019). Wearable EEG and beyond. *Biomedical Engineering Letters*, 9, 53–71. <https://doi.org/10.1007/s13534-019-00096-2>
7. Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E. W., Jiang, Y., & Zhao, X. (2019). A comprehensive review of EEG-based brain–computer interface paradigms. *Journal of Neural Engineering*, 16(1), 011001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaf12e>
8. Dauwels, J., Vialatte, F., & Cichocki, A. (2017). Diagnosis of Alzheimer’s disease from EEG signals: Where are we standing? *Current Alzheimer Research*, 14(4), 394–408. <https://doi.org/10.2174/1567205013666161222143701>
9. An, D., Fahoum, F., & Gotman, J. (2017). Detection of focal epileptic seizures using scalp EEG and advanced signal processing. *Clinical Neurophysiology*, 128(6), 958–968. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.03.008>
10. Ibrahim, A., & Majid, M. A. (2020). Brain–computer interface for Parkinson’s disease patients: A systematic review. *IEEE Access*, 8, 185146–185157. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029941/>
11. Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (Eds.). (2020). *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (7th ed.). Oxford University Press.
12. Шевчук, І.М., & Козловська, І.С. (2023). Перспективи застосування нейротехнологій у діагностиці психічних розладів. *Український журнал з проблем медицини та біології*, 28(4), 25–31.
13. Дяченко, В. Ю. (2022). Технології біологічного зворотного зв’язку на основі мозкової активності: діагностичні можливості. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*, 4, 47–52.
14. Лавренюк, О. П., & Резнік, С. В. (2021). Електроенцефалографія в практиці психологічної діагностики. *Психологія і суспільство*, 2, 119–125.
15. Майданюк, В. П., & Романюк, О. Н. (2025, 24–27 березня). *Неінвазивний нейроінтерфейс Користувач–Комп’ютер*. Матеріали ЛІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

- підрозділів Вінницького національного технічного університету (2024), м. Вінниця. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2025/paper/view/23517/19471>
16. Grand View Research. (2024). *Wearable EEG headsets market to reach USD 244.9 million by 2030, growing at a CAGR of 10.4%* [Press release]. Retrieved from Grand View Research website.
 17. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.
 18. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.

REFERENCES

1. Thibault, R. T., Lifshitz, M., Birbaumer, N., & Raz, A. (2020). Neurofeedback, self-regulation, and brain imaging: Clinical science and fad in the service of mental disorders. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 89(4), 193–207. <https://doi.org/10.1159/000506832>
2. Bekkedal, M. Y. V., Rossi, J. S., Panksepp, J., & Davis, M. (2021). EEG asymmetry in major depressive disorder: State, trait, or artifact? *Biological Psychology*, 162, 108093. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108093>
3. Tavakoli, H., & Motiei-Langroudi, R. (2023). Clinical application of wearable EEG devices in neuropsychiatric disorders: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1122334. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1122334>
4. Mehta, R., Bajaj, H., & Roy, D. (2022). Machine learning for mental health in neurophysiology: EEG-based classification of anxiety and depression. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 980–991. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3170198>
5. Krigolson, O. E. (2018). Event-related brain potentials and the study of decision making: A brief review. *Brain Sciences*, 8(8), 132. <https://doi.org/10.3390/brainsci8080132>
6. Casson, A. J. (2019). Wearable EEG and beyond. *Biomedical Engineering Letters*, 9, 53–71. <https://doi.org/10.1007/s13534-019-00096-2>
7. Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E. W., Jiang, Y., & Zhao, X. (2019). A comprehensive review of EEG-based brain–computer interface paradigms. *Journal of Neural Engineering*, 16(1), 011001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaf12e>
8. Dauwels, J., Vialatte, F., & Cichocki, A. (2017). Diagnosis of Alzheimer’s disease from EEG signals: Where are we standing? *Current Alzheimer Research*, 14(4), 394–408. <https://doi.org/10.2174/1567205013666161222143701>
9. An, D., Fahoum, F., & Gotman, J. (2017). Detection of focal epileptic seizures using scalp EEG and advanced signal processing. *Clinical Neurophysiology*, 128(6), 958–968. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.03.008>
10. Ibrahim, A., & Majid, M. A. (2020). Brain–computer interface for Parkinson’s disease patients: A systematic review. *IEEE Access*, 8, 185146–185157. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029941>
11. Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (Eds.). (2020). *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (7th ed.). Oxford University Press.
12. Shevchuk, I. M., & Kozlovska, I. S. (2023). Prospects for the use of neurotechnologies in the diagnosis of mental disorders. *Ukrainian Journal on Problems of Medicine and Biology*, 28(4), 25–31.
13. Dyachenko, V. Yu. (2022). Biofeedback technologies based on brain activity: Diagnostic capabilities. *Scientific News of NTUU "KPI"*, 4, 47–52.
14. Lavreniuk, O. P., & Reznik, S. V. (2021). Electroencephalography in psychological diagnostics practice. *Psychology and Society*, 2, 119–125.
15. Maidaniuk, V. P., & Romaniuk, O. N. (2025, March 24–27). Non-invasive brain–computer user interface. In *Proceedings of the LIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of the Departments of Vinnytsia National Technical University (2024)* (Vinnytsia, Ukraine). <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2025/paper/view/23517/19471>
16. Grand View Research. (2024). *Wearable EEG headsets market to reach USD 244.9 million by 2030, growing at a CAGR of 10.4%* [Press release]. <https://www.grandviewresearch.com/>
17. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.
18. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.

Надійшла до редакції 12.04.25 р.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

РОМАНИУК ОЛЕКСАНДР НИКИФОРОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail: rom8591@gmail.com***

ПАВЛОВ ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ – Ph.D., молодший науковий співробітник кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail: machinehead6926@gmail.com***

МАЙДАНИУК ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ***e-mail: maidaniuk2000@gmail.com***

ТИТОВА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – д.т.н., професор, Національний університет «Одеська Політехніка», ***e-mail: tnv.titova@gmail.com***

РОМАНИУК СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ - к.т.н., ст. викладач, Національний університет «Одеська Політехніка», ***e-mail: webvntuua@gmail.com***

O.N. ROMANIUK, V.S. PAVLOV, N.V. TITOVA,
S.O. ROMANIUK, V.P. MAIDANYUK

USE OF NEUROHEADSETS FOR DIAGNOSTICS OF DISEASES

Vinnytsia National Technical University, Ukraine
National University “Odessa Polytechnika”, Ukraine