

УДК 004.8

Янчук Е.А., магістрант
Нікітчук Т.М., к.т.н., доцент
Коренівська О.Л., к.т.н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»

ІНТЕРФЕЙСИ МОЗОК–КОМП’ЮТЕР: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

Інтерфейси мозок-комп’ютер (ІМК, англ. Brain-Computer Interface, BCI) є перспективним напрямом розвитку інформаційних технологій, що дозволяє створювати прямий канал взаємодії між мозком людини та зовнішніми комп’ютерними системами. Такі технології відкривають нові можливості у сфері медицини, реабілітації, нейрокібернетики та автоматизованих систем керування.

Згідно з дослідженням Elashmawi W.H. та ін. ІМК поділяються на інвазивні, напівінвазивні та неінвазивні (табл.1). Найбільш поширеними є неінвазивні системи на основі електроенцефалографії (ЕЕГ), оскільки вони є безпечними, відносно недорогими та не потребують хірургічного втручання. Основними парадигмами роботи таких систем є моторне уявлення (MI), потенціали Р300 та стимульовані зорові потенціали (SSVEP). Це означає, що в майбутньому можна створити системи, які зможуть розпізнавати думки та наміри людини, перетворюючи їх на команди для комп’ютерів або навіть роботизованих пристроїв. Наприклад, вже були успішно проведені експерименти, коли учасники могли керувати курсором на екрані лише за допомогою думок.

Таблиця 1

Технологія	Метод	Застосування	Стан
Neuralink	Імплантація електродів	Терапія нейрологічних розладів	Експериментальна фаза
EEG	Неінвазивні датчики	Моніторинг активності мозку	Застосовується
ECoG	Часткова імплантація	Контроль протезів	Клінічне застосування
fMRI	Сканування мозку	Дослідження мозку	Наукові дослідження

Значного прогресу у розробці ІМК вдалося досягти завдяки застосуванню методів глибокого навчання. Як зазначають Hossain K.M. та ін., згорткові та рекурентні нейронні мережі дають змогу покращити точність розпізнавання мозкових сигналів і забезпечити адаптацію

системи до індивідуальних особливостей користувача. Попри це, залишаються проблеми, пов'язані з нестачею якісних навчальних вибірок та високою варіативністю даних між різними користувачами.

Новітні дослідження демонструють перехід від теоретичних до практичних рішень. Так, у роботі Ding Y. та ін. представлено неінвазивну систему ІМК, яка забезпечує реальне керування рухами роботизованої руки на основі ЕЕГ-сигналів у режимі реального часу. Це доводить можливість створення ефективних допоміжних технологій для людей з порушеннями рухових функцій.

Отже, розвиток інтерфейсів мозок-комп'ютер демонструє стійку тенденцію інтеграції нейрофізіологічних методів із штучним інтелектом.

Мета роботи – проаналізувати сучасні підходи до побудови інтерфейсів мозок-комп'ютер, визначити їхні ключові переваги та обмеження, а також оцінити перспективи застосування таких технологій у біомедичній інженерії. У роботі використано методи оглядового аналізу наукових публікацій, порівняння існуючих технічних рішень та узагальнення результатів сучасних досліджень у сфері ІМК. Проблематика розвитку інтерфейсів мозок-комп'ютер пов'язана насамперед із низьким співвідношенням сигнал/шум у ЕЕГ-сигналах, значною індивідуальною варіативністю нейронної активності, складністю адаптації алгоритмів до конкретного користувача та обмеженнями неінвазивних підходів у порівнянні з інвазивними системами. Додатково актуальними залишаються питання стабільності роботи ІМК, підвищення швидкодії, зменшення затримок та забезпечення надійної класифікації мозкових сигналів у реальному часі. Саме ці аспекти істотно впливають на можливість практичного впровадження ІМК у медичну реабілітацію, системи керування протезами та асистивні технології.

Список використаних джерел:

1. Elashmawi W.H. et al. A Comprehensive Review on Brain–Computer Interface (BCI). Applied Sciences. 2024.
2. Hossain K.M. et al. Status of Deep Learning for EEG-based Brain–Computer Interfaces. Frontiers in Computational Neuroscience. 2023.
3. Ding Y. et al. EEG-based Brain–Computer Interface Enables Real-time Noninvasive Robotic Control. Nature Communications. 2025.
4. Інтерфейси "мозок-комп'ютер" та розвиток нейроінтернету. Веб-ресурс: <https://maxnet.ua/blog/internet-tendenciya-za-yakimi-varto-stezhiti-u-nastupni-5-rokiv/>
5. Підключення мозку до інтернету. Веб-ресурс: <https://proit.com.ua/news/pidklyuchennya-mozku-do-internetu-mozhlyvosti-ta-vykyky/>

УДК 004.9:61