**Кірія ЛУЦЕНКО,** студент,
**Марія БУЛАКАЄВА,** студент,
**Ганна ОВЧАРЕНКО,** асиситент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна,
e-mail: ovcharenko.ganna@lll.kpi.ua

# КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ НЕЙРОПРОТЕЗІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

**Анотація.** Дослідження проводилося на основі аналізу наукових робіт розміщених у наукометричних базах Google Scholar, Web of Science, Scopus, які знаходяться у відкритому доступі. Дана робота має за мету дослідити та проаналізувати сучасні досягнення у розвитку нейропротезів та їхнього впливу на якість життя пацієнтів. В проведеному дослідженні встановлено, що пацієнтці Пет Беннет було успішно вжито чотири датчики для передачі сигналів на комп’ютер. Окрім того, було виявлено, що технології декодування в подальшому вимагають більш оптимізованої системи розпізнавання слів та речень. Також, авторами було проаналізовано різні аспекти використання нейропротезів у різноманітних напрямках медицини. Ця робота є важливим внеском у розуміння впливу нейропротезів на розвиток нових методів лікування нейродегенеративних захворювань.

**Ключові слова:** нейропротези, мовні нейропротези, зорові нейропротези, електростимуляція, декодування сигналів.

**Актуальність дослідження**

Ураження мозку, порушення зору, слуху та мовлення стають глобальними проблемами здоров’я, які призводять до значних соціальних та економічних витрат. Нейропротези можуть бути використані для підвищення якості життя людей з порушенням комунікації. Ці пристрої здатні забезпечувати зв’язок між мозком та зовнішнім пристроєм, що сприяють відновленню втрачених функцій. Також, нейропротези значно підвищують якість життя людей з порушеннями зору, слуху, мовлення. Завдяки розвитку нових інноваційних пристроїв люди можуть відкривати нові можливості для самостійного життя.

**Мета дослідження**

Дана робота має за мету дослідити та проаналізувати сучасні досягнення у розвитку нейропротезів та їхнього впливу на якість життя пацієнтів.

**Основні матеріали досліджень**

Нейропротези мають потенціал відновити втрачені функції, допомагаючи пацієнтам з різними типами вад. Нейропротезування – це галузь нейроінженерії, що лежить на стику нейронауки, біомедичної інженерії та нейроінформатики. завдяки відкриттю цієї галузі, люди з вадами можуть жити повноцінним життям. Мовні нейропротези – це пристрої, що за допомогою електродів, розміщених на поверхні півкулі головного мозку, і спеціальних методів декодування для забезпечення комунікації та мобільності. Також вони тісно пов’язані з мозковими хвилями, та корелюють з синхронізацією між областями мозку та перехресно-частотним зв’язком між різними коливаннями. Зорові нейропротези – це зоровий пристрій, призначений для відновлення функціонального зору у осіб з частковою або повною сліпотою.

*Мовні нейропротези*

Мовні протези є вирішенням проблеми для пацієнтів, які не в змозі говорити через неврологічні захворювання, параліч різної ступені та відсутністю здатності говорити. Розробка мозково-комп’ютерних інтерфейсів (МКІ) для мови, дозволяє відновлення комунікації та незалежності цих людей [1]. Для забезпечення такого високоефективного методу інтерпретації має бути точність та швидкість декодування цих мозкових сигналів. Також МКІ мають підлаштовуватися під особливості мозку для будь якої людини.

68-річна Пет Беннет з діагностованим бічним аміотрофічним склерозом в 2012 році не може використовувати м’язи рота та шиї, що задіяні в ході мовлення. У 2022 році їй завдяки операції імплантували 4 датчика, які передавали сигнал на комп’ютер у вигляді тексту або звуку. З часом вона навчилась розрізняти інтенсивність мозкової активності, а програмне забезпечення комп’ютера в поєднанні з штучним інтелектом оптимізує розпізнавання імпульсів та робить автокорекцію фонетичних конструкцій для зрозумілого мовлення [2]. Дослідження окреслює потребу зменшити час тренування декодера, забезпечити стійкість декодера до нейронної змінності та підтвердити

колосальність результатів для ширшого кола учасників. Крім того, подальша оптимізація алгоритмів декодування та технології може знизити рівень помилок у словах до більш придатних для повсякденного використання [3].

Інший спосіб декодування сигналів здійснюється безпосередньо з церебральної кортикальної активності [4]. Завдяки цій технології пацієнти можуть являти собою прогрес у порівнянні з існуючими методами допоміжного спілкування. Протягом 48 сеансів було зафіксовано 22 години кортикальної активності, в процесі яких учасник намагався вимовити окремі слова зі словникового набору, який налічує 50 слів. Залишається проблематика точності розшифровки словникового набору та обмежена кількість операцій, що залишає за собою можливості для подальшого розвитку цього напрямку.

Не менш важливо розглянути потенційність проблем, які можуть переслідувати людей з інвалідністю в яких буде запроваджено в життя технології МКІ. Важлива допомога особам в адаптації та можливості комунікації з правових точок зору. Поліпшення соціальної рівноправності в можливості їх інтеграції в суспільстві. Також важливим аспектом є урахування приватності та конфіденційності користувачам цієї технології, заборона доступу до стороннього впливу на МКІ, що дозволяє робити маніпуляції над пристроєм [5]. Сприйняття суспільством викривлень та сумніву до волевиявлення особою може бути перешкодою для отримання повноправного використання в правових установах. Тож ці проблеми потребують детального вивчення з різних сторін.

*Контроль та мобільність за допомогою нейропротезів*

Для забезпечення рухової діяльності та потреби людей, що втратили на це здатність та можливість, в даній роботі ми розглянули можливість інтегрування системи контролю на основі нейропротезу [6]. Вона включає в себе інтегровану біоелектроніку, внутрішньопучкові мікроелектроди та інтегральний штучний інтелект, який є шляхом між цими елементами та керує складними сигналами рухів периферичних нервів. Також цей нейроінтерфейс записується ультра низьким шумом для сприйняття електронейрографія від масивів мікроелектродів та моделі штучного інтелекту.

Даним нейронним інтерфейсом можна забезпечити високоточне керування протезом руки. Він є зрозумілим для користування, при тому не втрачає здатності відображати складні рухи протеза на справжні наміри пацієнта. На відміну від не інтегрованого протезу без нейропротезування спритність цієї системи бажає кращого і точність рухів має відповідати підготовці пацієнт до такого виду відновлення.

*Зорові нейропротези*

Вирішення проблеми незворотної сліпоти може бути здійснене використанням нейропротезу, але поки застосування такого приладу здійснюється для людей з набутою сліпотою. Так як око функціонувало до захворювання, через що збереглися непошкоджені ланки зорового аналізатора, які тримають структурну та функціональну цілісність протягом тривалого часу. Для відновлення зорових властивостей пацієнтам імплантували універсальний електрод для стимуляції потенціалів окремих клітин кори [7]. Під час стимуляції через цей електрод проходять стимули від сусідніх електродів, що забезпечують створення зображення високої якості. Довготривале застосування поки не має можливості забезпечити саме цей пристрій, але його введення не спричиняє значного пошкодження окремих клітин кори.

Створення нейропротезу на основі електростимулятора окремих частин ока має різноманіття застосувань. Протезування сітківки спрямоване на електричну стимуляцію вцілілих нейронів сітківки [8]. Тому запропонувати штучний зір можна лише сліпим пацієнтам із зовнішніми захворюваннями сітківки, що спричиняє прогресуючу втрату фоторецепторів сітківки. Деякі пристрої були комерціалізовані завдяки відносній простоті імплантації та меншим хірургічним ризикам порівняно з іншими підходами. Окрім легкості хірургічної доступності, вони також можуть отримати вигоду від ретино топічної організації та раннього позиціонування на зоровому шляху.

Епіретинальна хірургія дозволяє розміщувати значні пристрої для штучного зору на значній ділянці поля зору. Крім того, ще однією перевагою епіретинальних імплантатів є полегшення відведення тепла через склоподібне тіло. Широкий штучний зір має вирішальне значення для абсолютно незрячих людей для виконання повсякденних зорових завдань, таких як загальна орієнтація, безпечне пересування, уникнення перешкод і розпізнавання об’єктів. Основним хірургічним недоліком є необхідність одного або декількох фіксаторів сітківки для кріплення протеза до сітківки, що може спричинити пошкодження сітківки. Нейропротезування ока з електростимуляцією має недоліки, що потрібно враховувати для подальших досліджень.

## Висновок

Нейропротези надають багатообіцяючі перспективи для покращення якості життя людей з обмеженими можливостями, забезпечуючи методи для відновлення спілкування, рухливості та навіть зору. Однак розробка та впровадження цих новітніх технологій вимагає ретельного вивчення індивідуальних властивостей організму, задля успішного імплантування. Науковці мають на меті вдосконалювати вже розроблені нейропротези та створюти нові інноваційні прилади. Технології, які були описанні в цій статті, потребують детального дослідження та усунення недоліків, задля забезпечення пацієнтам максимально комфортного використання.

**Література**

**1.** Miller, K. J., Hermes, D., & Staff, N. P. (2020). The current state of electrocorticography-based brain–computer interfaces. Neurosurgical Focus, 49(1), E2. https://doi.org/10.3171/2020.4.focus20185.
**2.** Angrick, M., Ottenhoff, M. C., Diener, L., Ivucic, D., Ivucic, G., Goulis, S., Saal, J., Colon, A. J., Wagner, L., Krusienski, D. J., Kubben, P. L., Schultz, T., & Herff, C. (2021). Real-time synthesis of imagined speech processes from minimally invasive recordings of neural activity. Communications Biology, 4(1). https://doi.org/10.1038/s42003-021-02578-0.
**3.** Angrick, M., Ottenhoff, M. C., Diener, L., Ivucic, D., Ivucic, G., Goulis, S., Saal, J., Colon, A. J., Wagner, L., Krusienski, D. J., Kubben, P. L., Schultz, T., & Herff, C. (2021). Real-time synthesis of imagined speech processes from minimally invasive recordings of neural activity. Communications Biology, 4(1). https://doi.org/10.1038/s42003-021-02578-0.
**4.** Moses, D. A., Metzger, S. L., Liu, J. R., Anumanchipalli, G. K., Makin, J. G., Sun, P. F., Chartier, J., Dougherty, M. E., Liu, P. M., Abrams, G. M., Tu-Chan, A., Ganguly, K., & Chang, E. F. (2021). Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria. New England Journal of Medicine, 385(3), 217–227. https://doi.org/10.1056/nejmoa2027540.
**5.** Chandler, J. A., Van der Loos, K. I., Boehnke, S., Beaudry, J. S., Buchman, D. Z., & Illes, J. (2022). Brain Computer Interfaces and Communication Disabilities: Ethical, Legal, and Social Aspects of Decoding Speech From the Brain. Frontiers in Human Neuroscience, 16. https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.841035.
**6.** Korr, M. (2023). Stanford clinical trial shows advances in brain-computer interfaces (BCIs) in woman with ALS, speech deficit. RHODE ISLAND MEDICAL JOURNAL, 71, 65. http://www.rimed.org/rimedicaljournal/2023/09/2023-09-61-news.pdf.
**7.** Цимбалюк В., Парпалей Я. (2003). Зорові нейропротези: історія, сучасний стан, перспективи розвитку. Український нейрохірургічний журнал . https://theunj.org/article/view/107594.
**8.** Humayun, M. S., Weiland, J. D., Fujii, G. Y., Greenberg, R., Williamson, R., Little, J., Mech, B., Cimmarusti, V., Van Boemel, G., Dagnelie, G., & de Juan, E. (2003). Visual perception in a blind subject with a chronic microelectronic retinal prosthesis. Vision Research, 43(24), 2573–2581. https://doi.org/10.1016/s0042-6989(03)00457-7.
**9.** Willett, F. R., Kunz, E. M., Fan, C., Avansino, D. T., Wilson, G. H., Choi, E. Y., Kamdar, F., Glasser, M. F., Hochberg, L. R., Druckmann, S., Shenoy, K. V., & Henderson, J. M. (2023b). A high-performance speech neuroprosthesis. Nature. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06377-x.
**10.** Fernandez, E. (2018). Development of visual Neuroprostheses: trends and challenges. Bioelectronic Medicine, 4(1). https://doi.org/10.1186/s42234-018-0013-8.
**11.** Borda, E., & Ghezzi, D. (2022). Advances in visual prostheses: engineering and biological challenges. Progress in Biomedical Engineering. https://doi.org/10.1088/2516-1091/ac812c
**12.** Lestak, J., Chod, J., Rosina, J., & Hana, K. (2022b). Visual neuroprosthesis: present and possible perspectives. Biomedical Papers. https://doi.org/10.5507/bp.2022.027.
**13.** Humayun, M. S., Weiland, J. D., Fujii, G. Y., Greenberg, R., Williamson, R., Little, J., Mech, B., Cimmarusti, V., Van Boemel, G., Dagnelie, G., & de Juan, E. (2003b). Visual perception in a blind subject with a chronic microelectronic retinal prosthesis. Vision Research, 43(24), 2573–2581. https://doi.org/10.1016/s0042-6989(03)00457-7.
**14.** Ramirez, K. A., Drew-Bear, L. E., Vega-Garces, M., Betancourt-Belandria, H., & Arevalo, J. F. (2023). An update on visual prosthesis. *International Journal of Retina and Vitreous*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/s40942-023-00498-1.
**15.** Mirochnik, R. M., & Pezaris, J. S. (2019). Contemporary approaches to visual prostheses. *Military Medical Research*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40779-019-0206-9.
**16.** Metzger, S. L., Littlejohn, K. T., Silva, A. B., Moses, D. A., Seaton, M. P., Wang, R., Dougherty, M. E., Liu, J. R., Wu, P., Berger, M. A., Zhuravleva, I., Tu-Chan, A., Ganguly, K., Anumanchipalli, G. K., & Chang, E. F. (2023). A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control. *Nature*. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06443-4.
**17.** Chang, E. F., & Anumanchipalli, G. K. (2020). Toward a Speech Neuroprosthesis. *JAMA*, *323*(5), 413. https://doi.org/10.1001/jama.2019.19813.