УДК 004.93:57.087

ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕЙСОВ МОЗГ-КОМПЬЮТЕР

Гончаров Р.М., студент 4 курса факультета приборостроения, электротехники и биотехнических систем
Научный руководитель – Кузь Е.В., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Ключевые слова: *Интерфейс мозг-компьютер, нейроинтерфейс, экзоскелет, нейропротез, реабилитация.*

В обзоре рассмотрены принципы работы интерфейса «мозг-компьютер», современные достижения, а также применение BCI для восстановления движений у парализованных пациентов. Представленные данные свидетельствуют, что BCI способны существенно расширить физические возможности человека.

Введение. Интерфейс «мозг-компьютер» (BCI) — технология прямого взаимодействия между мозгом человека и внешними электронными устройствами. BCI позволяют регистрировать нервную активность, анализировать её и преобразовывать в команды управления механизмами без участия традиционных мышечных сигналов. Эти технологии традиционно применяются в медицине для помощи людям с тяжелыми двигательными нарушениями, однако их возможности выходят за рамки чисто терапевтических задач. Современные BCI обладают достаточным разрешением для управления роботизированными устройствами или стимуляции мышц, что открывает путь к значительному расширению физической производительности человека.

Цель работы: Проанализировать современные принципы работы и достижения интерфейсов мозг-компьютер в контексте восстановления и расширения физических возможностей, обсудить их практические аспекты.

BCI основаны на регистрации и интерпретации нейросигналов, передающих мотивационные или сенсомоторные намерения. Такие интерфейсы могут детектировать электрическую активность мозга с помощью неинвазивных методов или внедренных электродов. Более инвазивные подходы дают лучшие соотношения сигнал/шум, но требуют хирургического вмешательства и несут риск осложнений. Однако распространено и широко применяется ЭЭГ, так как она безопасна, доступна и характеризуется высокой временной разрешающей способностью [1]. Независимо от метода записи, ключевыми этапами являются фильтрация, классификация паттернов активности и перевод их в команды управления внешними устройствами. Таким образом, мозг напрямую передает команды, минуя нервно-мышечную систему. При необходимости система возвращает пользователю сенсорную обратную связь, замыкая контур управления.

За последние годы разработаны различные BCI-системы, демонстрирующие впечатляющие возможности. Например, создан нейроадаптивный экзоскелет для реабилитации после инсульта: когда при регистрации ЭЭГ выявляется намерение движения (и даже специфические маркеры вовлеченности мозга), устройство автоматически помогает выполнить желаемое движение руки. В экспериментальных условиях парализованные пациенты успешно управляли роботизированной походкой: полностью имплантированная BCI-система позволила пациенту с церебральным параличом инициировать шаг на тренажере, преобразуя мысли о движении рук в команды начала ходьбы. Анализ ряда исследований выявил, что инвазивные «закрытые» BCI (контур «мозг – протез») у пациентов с повреждением спинного мозга позволяли восстановить отдельные моторные задачи путем управления протезами или электростимуляцией мышц [2]. Основные направления и примеры применения BCI:

• Управление экзоскелетами и вспомогательными механизмами: BCI позволяют синхронно активировать роботизированные экзоскелеты для восстановления возможности ходьбы и подъема тяжестей [3].

• Управление нейропротезами и электростимуляторами: посредством BCI человек может контролировать роботизированные конечности [2].

• Расширение сенсорных функций: в перспективе BCI могут обеспечивать обратную связь по давлению и положению в протезах, а также внедрять новые ощущения [4].

В целом экспериментальные исследования подтверждают потенциал BCI как надежных вспомогательных устройств для восстановления двигательных функций [3, 5].

За медицинским применением BCI просматриваются дальнейшие возможности в спорте, военном деле и промышленности. В оборонной сфере исследуются интерфейсы для создания «усиленных» бойцов: например, военные программы планируют использовать BCI для улучшения когнитивных и физических характеристик солдат — от подавления страха и повышения концентрации до интеграции нейросигналов с экзоскелетами для увеличения силы и выносливости. Ожидается развитие «сонарных» или «компасных» сенсоров, передающих информацию напрямую в мозг, что усилит восприимчивость к окружающей обстановке (как закладывалось в идеях Neuralink). Кроме того, BCI могут найти применение в промышленной и развлекательной сфере — от управления экзоскелетами для тяжелой физической работы до интерфейсов дополненной реальности и прямого соединения мозга с цифровыми устройствами.

Выводы. Интерфейсы «мозг-компьютер» демонстрируют убедительный потенциал для расширения физических возможностей человека. Текущие исследования показывают, что BCI позволяют парализованным людям выполнять движения с помощью роботизированных систем и восстанавливать функции через нейростимуляцию. В ближайшей перспективе развитие BCI будет направлено на повышение точности и надежности интерфейсов, интеграцию с нейронными сетями и сенсорными системами.

Библиографический список:

1. Sample A., Racine E. Ethical aspects of brain-computer interfaces: a scoping review // BMC Medical Ethics. — 2017. — Vol. 18, № 60. — P. 1–9.

2. Ali U., Naveed M., Ahmad R. et al. Brain-computer interfaces in the rehabilitation of stroke and spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis // Cureus. — 2025. — Vol. 17, № 10. — P. 1–10.

3. Cajigas I., Koenig M. A., Helmers S. L. et al. Brain-computer interface control of stepping from invasive electrocorticography upper-limb motor imagery in a patient with quadriplegia // Frontiers in Human Neuroscience. — 2023. — Vol. 16. — Art. 1077416. — P. 1–8.

4. Wu B., Li Y., Zhang X. et al. A brain–computer-interface driven forearm exoskeleton with adaptive neuroregulation-based feedback for stroke rehabilitation // Alexandria Engineering Journal. — 2025. — Vol. 131. — P. 199–208.

5. Brain-computer interfaces: U.S. military applications and implications. — Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2020. — 128 p.

POSSIBILITIES FOR EXPANDING PHYSICAL CAPABILITIES WITH BRAIN-COMPUTER INTERFACES

Goncharov R.M
Scientific Supervisor - Kuz E.V.
FSBEI HE Vladimir Dahl Luhansk State University

Keywords*: Brain-computer interface, neural interface, exoskeleton, neuroprosthesis, rehabilitation.*

This review examines the operating principles of brain-computer interfaces, modern advances, and the use of BCIs to restore movement in paralyzed patients. The data presented demonstrate that BCIs have the potential to significantly enhance human physical capabilities.