

**Назмутдинова Лилия Ильдаровна,**  
магистрант, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н. И. Пирогова  
Минздрава России, г. Москва

**АППАРАТНЫЙ МЕТОД:  
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ЭКЗОСКЕЛЕТА КИСТИ  
«ЭКЗОКИСТЬ-2» И «ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР»**

**Аннотация:** В статье проведён анализ научной и справочной литературы по вопросу ознакомления с комплектацией и работой роботизированного комплекса экзоскелета кисти «Экзокисть-2» и особенностям данного аппаратного метода, учитывая обратную связь «интерфейса мозг-компьютер».

**Ключевые слова:** интерфейс мозг-компьютер, экзокисть-2, экзоскелет кисти, нейропластичность, представление движения, ЭЭГ.

В XXI веке воображение движений всё чаще используется в качестве стимуляции нейропластичности головного мозга при разных поставленных задачах не только в медицине, но и в смежных областях наук. Часто объектом для применения аппаратных методов становятся именно нейропластические процессы в головном мозге человека. Аппаратные методы предоставляют исследователю возможность объективизации всего процесса занятий [7].

«Экзокисть-2» является внешним роботизированным устройством с подвижными элементами каркаса для крепления кистей и пальцев рук испытуемого, а также со специальными приводами для сгибания и разгибания пальцев [5]. Схема приведена на рисунке 1.



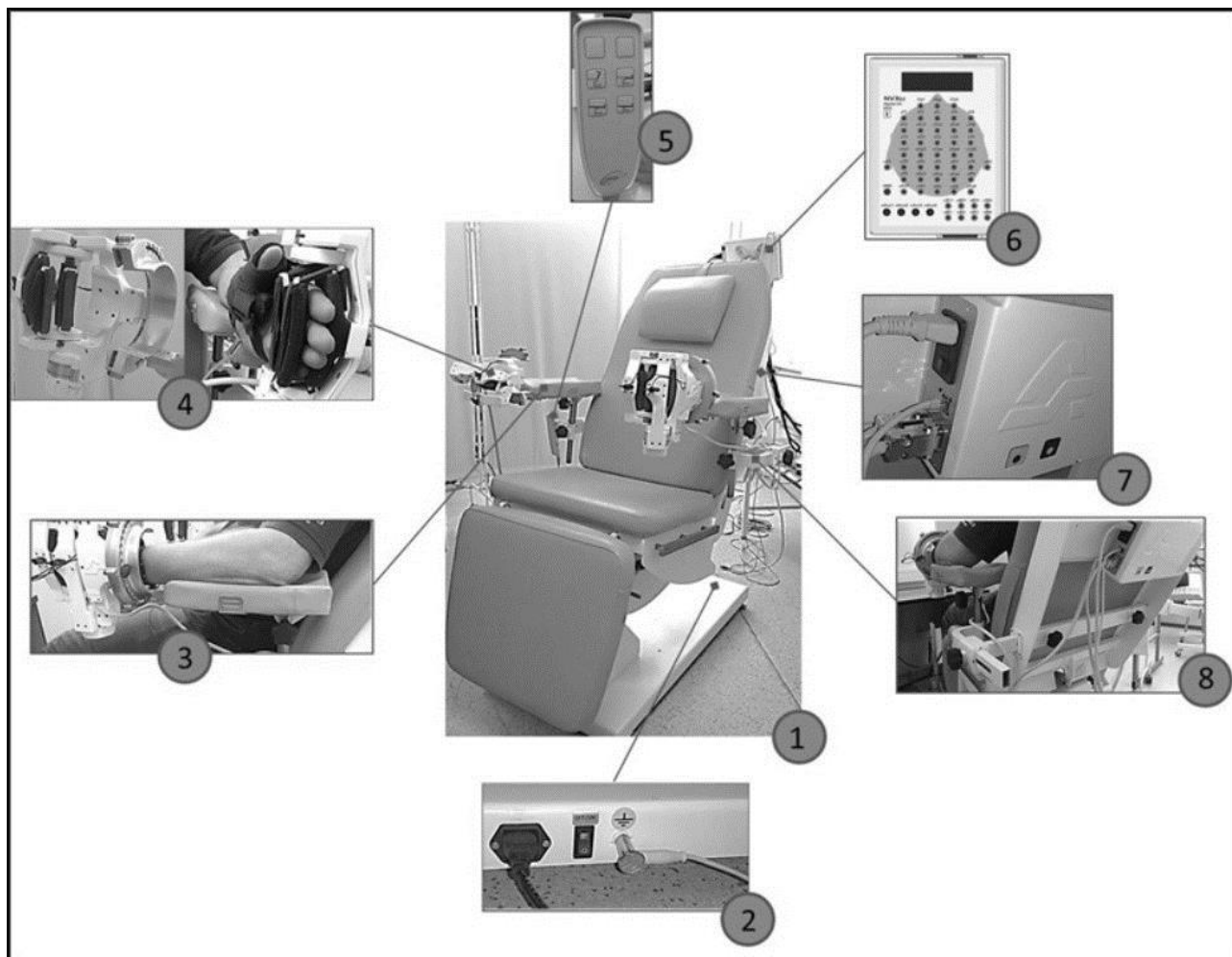


Рис. 1. Схема комплектации экзоскелета кисти

Компоненты, составляющие систему аппаратного метода:

1. Роботизированный комплекс «Экзокисть-2»;
2. Блок питания многофункционального медицинского кресла;
3. Подлокотник;
4. Экзоскелет кисти;
5. Пульт управления многофункциональным медицинским креслом;
6. Крепление для энцефалографа;
7. Блок питания «Экзокисти-2»;
8. Блок элементов подлокотника для регулировки [6].

Роботизированный комплекс экзоскелет кисти или «Экзокисть-2» в основном используется в медицине и в сфере научных исследований по нейрореабилитации при необходимости восстановить у пациента нарушенные



физиологические функции. Например, после очаговых поражений головного мозга, полученных при инсульте или др. травме. [4]. Однако никто не оспорит эффективность использования аппаратных методов в других сферах деятельности, например в коррекционно-развивающем обучении [12].

Аппаратный комплекс может быть как стимулятором афферентаций (поверхностной или проприоцептивной), включая в процесс пальцы и кисти рук, либо выступает в качестве механотерапевтического комплекса, включая в процесс дистальные отделы рук [8].

Различные компоненты экзоскелета управляются благодаря подключению электрических приводов, за которыми исследователь осуществляет наблюдения и контроль с помощью программного обеспечения, установленного заранее на рабочий компьютер [1].

«Экзокисть-2» приводит в движение пальцы кисти испытуемого только в том объёме, которые не превышал бы физиологический объём моделированного движения. Программа предоставляет возможность выбрать режим из 2-х степеней свободы, а именно сгибание и разгибание [13].

Как и большинство аппаратных комплексов, данная программа оснащена подстройкой под испытуемого в виде индивидуальной настройки, учитывая его проксимальные и дистальные размеры руки, ширину кисти, скорость, максимальную и минимальную амплитуду суставного движения [14].

В структуру роботизированных комплексов экзоскелетов встроены специальные измерительные датчики, позволяющие исследователю дать объективную оценку получившимся изменениям в режиме «онлайн». Таким образом, системой испытуемому предлагается биологическая обратная связь [9].

Все «экзосуставы» и фиксаторы по данным разработчиков выполнены по принципу реального анатомического строения кистей для повышения эргономики и комфорта испытуемого во время длительных исследований. Поэтому, совершаемые кинематические движения наиболее приближаются физиологическим движениям, от которых испытуемый будет меньше уставать.



Кроме того, такая конструкция аппаратного метода позволяет исключить риск получения травм, если исследователь и испытуемый соблюдают все прописанные в руководстве меры безопасности для получения обратной связи [11].

В научных работах приводится информация о наличии возможности анонимного хранения результатов занятий с данным аппаратным методом: на предоставленных серверах или локально на компьютере, соблюдая конфиденциальность [3].

«Интерфейс мозг-компьютер» (ИМК) – это система, состоящая из неинвазивного интерфейса, который при выполнении кинестетического воображения активного движения проводит анализ паттернов ЭЭГ-сигналов в реальном времени. Данный интерфейс отвечает за управление роботизированным комплексом экзокисти кисти «Экзокисть-2», раскрывающий или сгибающий кисть благодаря быстрой обратной связи [10].

Можем заключить, что «интерфейс мозг-компьютер» является самой современной и доступной для использования системой на данный момент, чтобы в режиме реального времени регистрировать воображение движений с помощью биоэлектрической активности мозга испытуемого, являющейся ответом на воображение целенаправленного движения [2].

#### *Список литературы:*

1. Фролов А. А., Черникова Л. А., Люкманов Р. Х., Мокиенко О. А., Бобров П. Д., Бирюкова Е. В., Котов С. В., Турбина Л. Г., Пирадов М. А., Г.Е. Иванова Г. Е. Экзоскелет кисти «Экзокисть-2». Руководство пользователя / ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, – Москва, – 2017, – 36 стр.

2. Фролов А. А., Черникова Л. А., Люкманов Р. Х., Мокиенко О. А., Бобров П. Д., Бирюкова Е. В., Котов С. В., Турбина Л. Г., Пирадов М. А., Г.Е. Иванова Г. Е. Использование медицинской технологии «Неинвазивный интерфейс мозг – компьютер – экзоскелет кисти». Методические



рекомендации. / ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, – Москва, – 2017, – 28 с.

3. Agarwal, A., Dowsley, R., McKinney, N. D., Wu, D., Lin, C.-T., Cock, M. D., & Nascimento, A. (2019). Protecting privacy of users in brain-computer interface applications. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 27 (8): 1546-1555.

4. Antonenko D, Nierhaus T, Meinzer M, Prehn K, Thielscher A, Ittermann B, Flöel A. Age-dependent effects of brain stimulation on network centrality. *Neuroimage*. 2018 Aug 1; 176: 71-82.

5. Chiarelli AM, Croce P, Merla A, Zappasodi F. Deep learning for hybrid EEG-fNIRS brain-computer interface: application to motor imagery classification. *J Neural Eng*. 2018 Jun; 15(3): 036028.

6. Corsi MC, Chavez M, Schwartz D, Hugueville L, Khambhati AN, Bassett DS, De Vico Fallani F. Integrating EEG and MEG Signals to Improve Motor Imagery Classification in Brain-Computer Interface. *Int J Neural Syst*. 2019 Feb; 29 (1): 1850014.

7. Jammal L, Whalley B, Barkai E. Learning-induced modulation of the effect of neuroglial transmission on synaptic plasticity. *J Neurophysiol*. 2018 Jun 1; 119 (6): 2373-2379.

8. Kosmyna N, Lécuyer A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. *PLoS One*. 2019 Jan 3; 14 (1): e0210145.

9. Lotte F, Bougrain L, Cichocki A, Clerc M, Congedo M, Rakotomamonjy A, Yger F. A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces: a 10 year update. *J Neural Eng*. 2018 Jun; 15 (3): 031005.

10. Mizuguchi N, Kanosue K. Changes in brain activity during action observation and motor imagery: Their relationship with motor learning. *Prog Brain Res*. 2017; 234: 189-204.

11. Ros T, Frewen P, Théberge J, Michela A, Kluetsch R, Mueller A, Candrian G, Jetly R, Vuilleumier P, Lanius RA. Neurofeedback Tunes Scale-Free Dynamics in Spontaneous Brain Activity. *Cereb Cortex*. 2017 Oct 1; 27 (10): 4911-4922.



12. Roy Arunabha M., Adaptive transfer learning-based multiscale feature fused deep convolutional neural network for EEG MI multiclassification in brain-computer interface, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 116, 2022, 105347.

13. Saha S, Ahmed KIU, Mostafa R, Hadjileontiadis L, Khandoker A. Evidence of Variabilities in EEG Dynamics During Motor Imagery-Based Multiclass Brain-Computer Interface. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2018 Feb; 26 (2): 371-382.

14. Saha S, Mamun KA, Ahmed K, Mostafa R, Naik GR, Darvishi S, Khandoker AH, Baumert M. Progress in Brain Computer Interface: Challenges and Opportunities. *Front Syst Neurosci*. 2021 Feb 25; 15: 578875.

