

Результаты исследования будут использованы при разработке многоцветных ферментных чип-сенсоров диагностики патологий углеводного обмена в крови.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований «Биотехнологии – 2» на 2021-2025 годы (Подпрограмма «Микробные биотехнологии-2» НИР 2 задание 3.5).

#### Литература

1. Биосенсорные технологии в медицине: от детекции биохимических маркеров до исследования молекулярных мишеней (обзор) / Б.Г. Андриков [и др.] // Биосенсорные технологии в медицине. – 2020. – № 6 (12). – С. 70–85.
2. Mikhelson, K.N. Advances and trends in ionophore-based chemical sensors / K.N. Mikhelson, M.A. Peshkova // Russian Chemical Reviews. – 2015. – Т. 84, № 6. – С. 55.

УДК 615.477.2

### МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Кудина А.В.<sup>1</sup>, Габец В.Л.<sup>2</sup>, Франко Е.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и электроники

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>Ресурсный центр ЭкоТехноПарк – Волма УО «Республиканский институт профессионального образования»

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** При разработке био- или нейроуправляемых биотехнических устройств первоочередной задачей является определение достоверного способа получения информации о траектории совершаемого движения. Общая концепция бионических систем управления конечностями заключается в регистрации сигналов головного мозга и преобразование их в двигательные команды для бионического устройства, для чего необходимо применить наиболее точный и достоверный метод.

**Ключевые слова:** бионические протезы верхних и нижних конечностей, биопотенциалы, электромиография.

### INNOVATIVE METHODS FOR CONTROLLING BIONIC PROSTHESES OF UPPER AND LOWER LIMBS

Kudina A.V.<sup>1</sup>, Gabets V.L.<sup>2</sup>, Franko E.P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University of Informatics and Electronics

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

<sup>3</sup>Resource center EcoTechnoPark – Volma EE "Republican Institute of Professional education"

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** When developing bio- or neuro-controlled biotechnical devices, the primary task is to determine a reliable method for obtaining information about the trajectory of the movement being performed. The general concept of bionic limb control systems is to register brain signals and convert them into motor commands for a bionic device, for which it is necessary to apply the most accurate and reliable method.

**Key words:** bionic prostheses of the upper and lower extremities, biopotentials, electromyography.

Адрес для переписки: Габец В.Л., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: vgabets@bntu.by

Ключевой задачей протезирования является восстановление функциональности конечностей. В последнее десятилетие разработчики современных протезов смогли достичь значительных достижений в создании бионических протезов нижних и верхних конечностей.

Бионические протезы – это протезы, которые управляются микропроцессором или компьютером, которые обладают рядом дополнительных преимуществ в сравнении с механическими протезами: повышенная мобильность и функциональность, безопасность. Бионические протезы оснащены передовыми сенсорными устройствами, моторикой искусственных мышц, которые позволяют управлять ими с помощью мышеч-

ного аппарата и путем передачи нервных импульсов. Разработка более легких устройств, появление микропроцессоров, компьютерных чипов и робототехники в современном медицинском приборостроении предназначено для возвращения пациентов к жизни.

Общая концепция бионических систем управления конечностями заключается в том, чтобы регистрировать сигналы головного мозга и преобразовывать их в двигательные команды для бионического устройства. Принцип действия биоэлектрических протезов основан на том, что после ампутации на культе остается часть мускулатуры, которая может сокращаться. Это приводит к появлению в мышце электрического потенциала,

который считывается и передается на микропроцессор протеза [1].

В последнее десятилетие различные робототехнические устройства все шире применяются в медицинской сфере. Это тесно связано с развитием соответствующей элементной базы мехатронных и сенсорных устройств, разработкой биологически безопасных материалов, а также методов получения и обработки информации о состоянии и функционировании отдельных органов человека. При разработке био- или нейрорегулируемых биотехнических устройств первоочередной задачей является определение способа получения информации о траектории совершаемого движения.

В современных биотехнических средствах класса систем взаимодействия человек-компьютер (Human Computer Interaction – HCI) используют биопотенциалы: электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электромиограммы (ЭМГ), электронейрограммы (ЭНГ), электроокулограммы (ЭОГ). Широкое распространение получило использование электромиограммы [2]. Наиболее совершенным является метод регистрации колебаний напряжения мышц при помощи датчиков, преобразующих механические изменения движения в электрические, регистрируемые приборами. Электромиография – это метод исследования биоэлектрических потенциалов, возникающих в мышцах человека при возбуждении мышечных волокон с последующей регистрацией электрической активности мышечных волокон. Миографы различных конструкций обеспечивают регистрацию изотонических или изометрических сокращений мышечного аппарата. Различают спонтанную электромиограмму, отражающую состояние мышц в покое или при мышечном напряжении (произвольном или синергическом), а также вызванную, обусловленную электрической стимуляцией мышцы или нерва. Метод позволяет проводить топическую диагностику поражения нервной и мышечной систем (спинномозговых корешков и нервов, надсегментарных пирамидных и экстрапирамидных структур, мотонейронов передних рогов, нервно-мышечного синапса и собственно иннервируемой мышцы). Начало сокращения мышц инициируется электрическими импульсами в нервных стволах, приходящих в мышечные волокна. Эти импульсы деполяризуют мембрану клеток мышечных волокон, в результате чего в последних создается потенциал действия, который быстро распространяется по нервному волокну, что приводит к его сокращению. Сокращение инициируется этим потенциалом действия, а сам процесс сокращения гораздо длительнее по времени. При применении игольчатых (инвазивных) или поверхностных электродов, можно зарегистрировать сумму потенциалов действия всех вовлеченных в процесс клеток. Последующая обработка и извлечение информации ЭМГ позволяет реализовать

управление техническими устройствами, например, биоэлектрическими протезами [2].

Создание устройств данного типа особенно перспективно для восстановления движений после ампутаций и параличей, когда остаточная биоэлектрическая активность усеченных или парализованных мышц естественным образом используется для управления движениями протеза или двигательного аппарата. При этом поверхностные или имплантированные электроды культы в результате электрической активности мышц формируют поступающие на усилитель электрические сигналы, что позволяет получать данные о виде совершаемого движения. Эти данные преобразуются в соответствующие управляющие сигналы исполнительных механизмов искусственной конечности. Поэтому для создания высококачественных протезов конечностей с био- и нейроэлектрическим управлением необходим качественный и стабильный сигнал.

Одним из главных недостатков всех известных способов электромиографического управления протезами является то, что сигналы деполяризации от стимулированных одновременно мышц накладываются и получить сигнал ЭМГ об активности конкретной мышцы достаточно проблематично. Влияние интерференционных помех от рядом расположенных мышц возрастает с ростом расстояния между измерительными электродами. Сигналы ЭМГ достоверно отражают начало мышечного сокращения, но не дают истинного представления о характере движения мышцы при сокращении. Не смотря на то, что сигнал ЭМГ один из самых простых электрофизиологических сигналов для измерения, но он же является одним из самых трудных для количественной оценки. Для точного распознавания движений по сигналам ЭМГ необходимо увеличивать количество электродных систем, накладываемых на мышцу, что иногда затруднительно, например, при больших уровнях ампутации конечностей [2].

На сегодняшний день современные бионические протезы имеют ряд недостатков и не могут заменить человеку утраченную конечность. Развитие современных технологий, методов исследований работы головного мозга и нервной системы, а так же применение наноматериалов не могут до конца решить вопрос об идеальном соединении нервной системы человека с механическим протезом.

#### Литература

1. Shehata, A. Improving internal model strength and performance of prosthetic hands using augmented feedback / A. Shehata, M. Controzzi, C. Cipriani // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [Electronic resource]. – 2018. – Vol. 15, № 70. – 12 p.
2. Thesleff, A. Biomechanical Characterisation of Bone-anchored Implant Systems for Amputation Limb Prostheses: A Systematic Review / A. Thesleff, M. Ortiz-Catalan // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2018. – Vol. 46, № 3. – P. 377–391.