

УДК 681.51:616-77**© Алексей Казнин**

заведующий кафедрой прикладной информатики Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова, кандидат технических наук, доцент (Россия)

© Alexey Kaznin

Head of applied informatics department of Northern (Arctic) federal university named after M. V. Lomonosov, PhD in Technics (Russia) e-mail: n.milyaev@narfu.ru

© Никита Миляев

инженер-программист лаборатории информатизации прикладных исследований Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова (Россия)

© Nikita Milyaev

Programmer of Laboratory of Applied Research Informatization of Northern (Arctic) federal university named after M. V. Lomonosov (Russia)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ

В статье выполнен обзор современных подходов к управлению биоэлектрическими протезами. Рассмотрен алгоритм управления биоэлектрическим протезом, в основе которого лежит метод анализа электромиограммы. Выполнен анализ представленных на рынке биоэлектрических протезов. Описаны основные недостатки и пути усовершенствования протезов.

Во всем мире более миллиарда человек живут с какой-либо формой инвалидности, из них почти 200 миллионов испытывают серьезные трудности в процессе жизнедеятельности в связи с потерей одной или нескольких конечностей [1]. В результате старения населения, глобального роста распространенности таких хронических болезней, как диабет, сердечно-

сосудистые болезни, рак и психические расстройства, в предстоящие годы инвалидность будет вызывать все большую озабоченность.

Концепция реабилитации больных и инвалидов в последние годы прочно вошла в практику органов здравоохранения и социальной защиты населения Российской Федерации. В качестве примера можно привести Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам социальной защиты инвалидов в связи с ратификацией Конвенции о правах инвалидов» от 1 декабря 2014 года [2]. Данный документ устанавливает недопустимость дискриминации по признаку инвалидности, в том числе при трудоустройстве. Кроме того, в данное время правительством РФ реализуется Государственная программа «Доступная среда» [3], разработанная Минтрудом. Ключевой ее целью является создание правовых, экономических и институциональных условий, способствующих интеграции инвалидов в общество и повышению уровня их жизни [4].

Развитие правовых основ и законодательной базы для поддержки людей с ограниченными возможностями со стороны государства является большим шагом к созданию комфортной среды, в которой инвалиды смогут вернуться к полноценной жизни, но одного этого недостаточно. Процесс восстановления здоровья человека, получившего травму, в физическом, духовном и профессиональном отношении составляет суть реабилитации.

В решении задачи реабилитации первостепенной является разработка медицинских технических средств с использованием самых передовых достижений научного прогресса. С помощью современных средств протезирования становится возможной мобилизация резервных сил организма и поэтапное возвращение индивида, получившего травму, к нормальной жизни.

Текущий уровень развития робототехники позволяет создавать современные протезы, дающие людям с ампутациями конечностей возможность восстанавливать часть потерянных функций организма.

Известный американский математик и философ Норберт Винер в начале 1950 годов в рамках работы над книгой об обратной связи между машинами и нервной системой человека подтвердил, что управляющие сигналы, передаваемые по нервной системе человека от мозга к мышцам, не исчезают и после ампутации части конечности. Профессор Винер предположил, что данные биоэлектрические сигналы могут быть использованы для управления протезами, работа которых будет схожа с функционированием конечности, которая была ампутирована.

Работу большинства современных биоэлектрических протезов можно условно разделить на три этапа, представленных на рисунке 1.

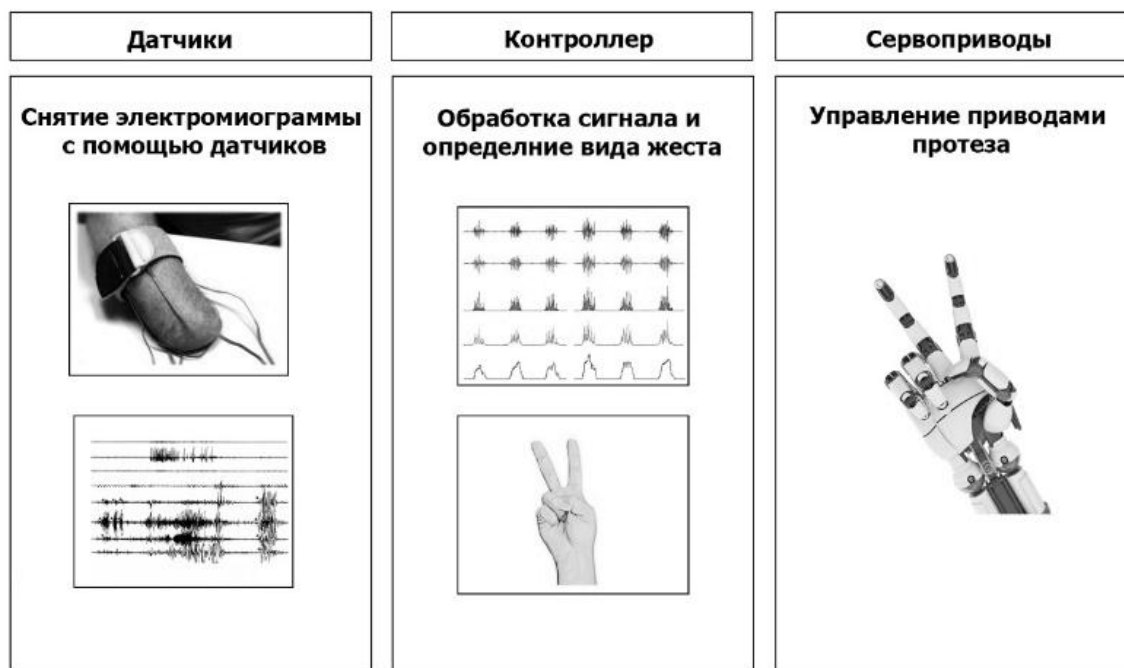


Рисунок 1 — Схема управления биоэлектрическим протезом

В большинстве современных роботизированных протезов применяется метод снятия биоэлектрических потенциалов или, другими словами, электромиография.

Электромиография — это метод диагностики, позволяющий оценить биоэлектрическую активность мышц, на основании которой можно сделать вывод об их функциональном состоянии. Существует два основных типа электромиографии: поверхностная и локальная. Поверхностная является неинвазивным методом исследования, при котором на кожный покров, находящийся над мышцей, закрепляют датчики, регистрирующие изменение электрических потенциалов в теле мышцы. При неинвазивном методе получаемый сигнал является более зашумленным, но благодаря тому, что обследуется сразу все тело мышцы, из сигнала можно извлечь больше полезной информации. Кроме того, данный метод является сравнительно более дешевым, чем локальная электромиография. Локальная электромиография является инвазивным методом, при котором игольчатые электроды помещаются непосредственно в мышцу. Применение локальной электромиографии позволяет сокращать наводки от мышц, находящихся рядом, и получать более «чистый» сигнал, однако использование игольчатых электродов вызывает сложности, так как при каждом съеме сигнала необходимо участие квалифицированного специалиста, который сможет ввести электроды в мышцы без вреда для человека. Ввиду перечисленных выше причин работа большинства роботизированных протезов основана именно на поверхностной электромиографии.

Результатом проведения электромиографии является электромиограмма, представляющая собой графическое отображение колебаний электрических потенциалов мышцы с различными значениями частоты, амплитуды и периода. На начальном этапе сокращения мышцы амплитуда фиксируемых колебаний может колебаться от 100 мкВ до 150 мкВ, а при максимальном сокращении мышцы — от 100 мкВ до 3000 мкВ. Значения этих показателей напрямую зависят от физиологических параметров тела человека. Толстый слой подкожной жировой клетчатки в области исследования или заболевания, связанные со свертывающей системой крови, могут искажать значения. После получения управляющего сигнала с мышц человека электромиограмма обрабатывается и микроконтроллером определяется тип жеста, который человек хочет выполнить. Затем преобразованный управляющий сигнал подается на сервоприводы протеза и выполняется определенное движение.

Благодаря современным материалам, сбалансированному размещению двигателей, датчикам силы прикосновения и вместительным аккумуляторам, различные компании достигли заметных успехов в создании биоэлектрических протезов рук. Наиболее передовыми коммерческими биоэлектрическими протезами являются:

- BeBionic;
- i-Limb;
- MyoFacil.

Биоэлектрический протез BeBionic компании RSLSteeper, анонсированный в 2010 году, выпускается уже в третьем поколении и сегодня является одним из самых передовых на рынке. В данном протезе используется технология снятия электромиограммы с мышц оператора с помощью датчиков, расположенных в культеприемной гильзе. Затем сигнал, полученный с датчиков, обрабатывается микропроцессором и выполняется один из 14 запрограммированных хватов. Этот диапазон захватов позволяет пользователю удерживать ручку, печатать на клавиатуре, удерживать кредитные карты, завязывать шнурки, пожимать руку при встрече, а также выполнять другие жесты, необходимые человеку в быту. Выполнение широкого круга хватов стало возможно благодаря использованию отдельного сервопривода для каждого из пальцев. Кроме того, данный протез реализует перечень интересных функций, таких как возможность поворота кисти на 360 градусов и возможность выполнять двойной клик при работе с компьютерной мышью.

В 2007 году компания Touch Bionics начала устанавливать протезы, основанные на работе миоэлектрических датчиков и микропроцессоров. Современная версия протеза называется i-Limb Quantum и предоставляет пользователю выбор из 24 предустановленных и 12 программируемых

пользователем хватов. Данный протез можно синхронизировать со смартфоном и через мобильное приложение выполнять точные настройки и программирование новых жестов. Важным отличием данного протеза от конкурентов является наличие гибкого шарнира запястья, который позволяет изменять положение кисти на 40 градусов в обе стороны относительно стандартного положения.

Перечисленные выше примеры биоэлектрических протезов являются сложными техническими устройствами, что в свою очередь сильно сказывается на цене. Примером биоэлектрического протеза из более низкого ценового сегмента является MyoFacil производства немецкой фирмы Ottobock. Данный протез не отличается широким выбором хватов или красивой антропоморфной оболочкой, копирующей внешний вид настоящей руки, но базовые функции он выполняет на должном уровне. Представляя собой простой манипулятор, он не лишен ряда достоинств. Одним из таких достоинств является скорость закрытия и открытия хвата, которая выше, чем у конкурентов. Ширина раскрытия искусственной кисти позволяет взять одной рукой предметы большего размера.

Сейчас биоэлектрическое протезирование находится в периоде активного развития. На рынке представлены различные варианты протезов, имеющие разные функции и особенности, а компании вкладывают значительные ресурсы в разработку новых методов производства протезов. Технологии протезирования достигли высокого уровня и позволяют решить широкий круг проблем, связанных с реабилитацией людей с ограниченными возможностями, но многие вопросы в этой области до сих пор остаются нерешенными.

На данном этапе развития техническая сложность полноценных биоэлектрических протезов несет много сложностей для их обладателей, так как искусственные конечности ежедневно подвергаются большой нагрузке и при возможных поломках данных изделий их ремонт возможен только у производителя, то есть за границей. Большой проблемой является отсутствие у современных биоэлектрических протезов систем обратной связи, позволяющих пользователю осязать предметы, с которыми они взаимодействуют. Развитие сенсорной составляющей протезов — одна из перспектив их усовершенствования. Практически все биоэлектрические протезы, представленные сейчас на рынке, не позволяют пользователю свободно двигать каждым пальцем искусственной руки, а алгоритм управления протезом представляет собой выбор из запрограммированных производителем жестов. Возможным способом решения проблемы малого количества степеней свободы современных протезов является увеличение количества датчиков для снятия управляющего сигнала с мышц человека-оператора, а

также применение алгоритмов искусственных нейронных сетей при анализе полученного сигнала для определения жестов.

Список основных источников

1. Всемирный доклад об инвалидности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70670/7/WHO_NMН_VIP_11.04_rus.pdf. — Дата доступа: 11.12.2016.

2. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам социальной защиты инвалидов в связи с ратификацией Конвенции о правах инвалидов [Электронный Ресурс] : Федер. закон, 1 дек. 2014 г. № 419-ФЗ : в ред. Федер. закона от 29.12.2015 г. № 394-ФЗ. — Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102362996&rdk=&backlink=1>. — Дата доступа: 24.12.2016.

3. Государственная программа «Доступная среда» на 2011–2020 годы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://government.ru/programs/215/about/>. — Дата доступа: 26.12.2016.

4. Государственная программа «Доступная среда» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.garant.ru/news/674495/#ixzz4 VLFuWiOi>. — Дата обращения: 26.12.2016.

Analysis of modern bioelectric prostheses systems

This article gives an overview of current approaches for bioelectric prosthesis management. First part of the article describes the importance of modern prosthetics development. Bioelectric control provides the amputee possibility to control prosthesis like arm, which was lost through the amputation.

Second part of the article gives description of myoelectric prosthesis control system, which uses electric signals from muscles of amputee arm to provide control of artificial hand. Also described the most known hand prostheses, advantages and disadvantages of prostheses. In conclusion, of the article there are shown general situation of bioelectric prosthesis industry today and possible ways of bioelectric prosthesis improvement.