**Очувствление протеза верхней конечности**

**Автор работы:** **Бобылева Е.А.**

**Научный руководитель: Гончарова А. В.**

*Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы «Школа № 2045 имени Героя Российской Федерации Д.А. Разумовского», АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», г. Москва, г. Зеленоград, Россия*

*E-mail:* [*mayakmargo@yandex.ru*](mailto:mayakmargo@yandex.ru)*,* [*agoncharova@niime.ru*](mailto:agoncharova@niime.ru)

**Sensibility of the upper limb prosthesis**

**The author of the work*:* Bobyleva E.A.**

**Scientific supervisor: Goncharova A.V**.

*State Budgetary Educational Institution of the city of Moscow "School No. 2045 named after Hero of the Russian Federation D.A. Razumovsky", JSC "Scientific Research Institute of Molecular Electronics", Moscow, Zelenograd, Russia*

*E-mail:* [*mayakmargo@yandex.ru*](mailto:mayakmargo@yandex.ru)*,* [*agoncharova@niime.ru*](mailto:agoncharova@niime.ru)

**Аннотация:** Работа направлена на решение проблемы протезирования в современном мире, а именно представлена разработка модуля для реализации БОС в протезе верхней конечности. Рассмотрены общие принципы работы бионического протеза и методы реализации сенсорной обратной связи. Разработана концепция тактильного модуля, для очувствления протеза, который будет имитировать работу механорецепторов человека.

**Annotation:** The work is aimed at solving the problem of prosthetics in the modern world, namely, the development of a module for the implementation of the BOS in the prosthesis of the upper limb is presented. The general principles of the bionic prosthesis and methods of implementing sensory feedback are considered. The concept of a tactile module has been developed to sensitize a prosthesis that will simulate the operation of human mechanoreceptors.

**Ключевые слова:** «биологическая обратная связь», «тактильный модуль», «бионический протез»

**Keywords:** «biofeedback», «tactile module», «bionic prosthesis»

Для того, чтобы начать разрабатывать систему очувствления протеза, необходимо понять что такое биологическая обратная связь.

Биологическая обратная связь (БОС) - технология, включающая в себя комплекс исследовательских, немедицинских, физиологических, профилактических и лечебных процедур, в ходе которых человеку посредством внешней цепи обратной связи, организованной преимущественно с помощью микропроцессорной или компьютерной техники, предъявляется информация о состоянии и изменении тех или иных собственных физиологических процессов. С помощью БОС, можно получать информацию о ЧСС, активности мозга, мышечных сокращениях, мозговой активности, кровоснабжении сосудов и дыхании. В протезах, БОС помогает вывести на монитор информацию об интенсивности сокращения мышц. Так же с помощью биологической обратной связи можно обучить пользователя управлению силой активности мышц.

Далее, рассмотрим виды датчиков, необходимые для очувствления протеза: ЭМГ-датчики измеряют биопотенциалы сокращающихся мышц. Сигналы снимаются с помощью поверхностной электромиографии. Электроды ЭЭГ фиксируют мозговую активность пользователя для управления движений протеза. Тактильные датчики расположены, например, на пальцах протеза, способны передавать сигнал от поверхности, в головной мозг, что позволяет вызвать тактильные ощущения у пользователя.

Так же, для очувствления необходимо знать, что такое механорецепторы. Механорецепторы – это окончания чувствительных нервных волокон, реагирующие на механическое давление или иные механические воздействия. Виды механорецепторов: Тельца Руффини - воспринимают плавные скользящие касательные прикосновения. Тельца Пачини - воспринимают изменения давления в тканях.Тельца Меркеля - воспринимают осязательные раздражения, возникающие при соприкосновении кожи с предметами. Тельца Мейснера - реагируют на прикосновение

В рамках проекта был проведен анализ рынка бионических устройств, исходя из этого, можно сделать вывод, что протезы составляют около 55% от всех устройств. Импорт протезов в России в 2019-м увеличился на 22,2% — до 2,99 млн штук. Крупнейшими поставщиками протезов в нашу страну были: США, Ирландия и Германия — 0,66 млн, 0,43 млн и 0,27 млн штук соответственно. В 2020 году поставки из-за рубежа сократились на 11% — до 2,66 млн изделий. С началом СВО, объемы импорта упали на фоне санкций. Объем реабилитационной индустрии в России оценивается в 837,1 млрд рублей, из которых значительная часть 392,9 млрд, или 47% приходится на долю решений для мобильности.

Для разработки аналога сенсорной системы для реализации тактильных ощущений в протезе верхней конечности, были определены основные функциональные части модуля, затем был сделан чертёж тактильного модуля, с помощью которого был создан макет из 3D ручки.

При прикосновении модуля к поверхности реагирует тензорезистор - при деформации объекта измерения эта деформация передаётся резистивной проволоке или фольге через основание. В результате сопротивление проволоки или фольги изменяется. Это изменение точно пропорционально деформации. По полученным данным можно оценить степень нажатия. Данные с акселерометра и гироскопа собираются непрерывно. С трех каналов информации объединенных вместе можно проводить анализ, до чего дотронулся палец.

Алгоритм очувствления протеза верхней конечности: тактильный модуль фиксирует данные о движении, скорости движения и нажатии на поверхность, далее они собираются и передаются на графики, которые обрабатываются алгоритмами и определяют степень нажатия. Проводится калибровка степени нажатия и сигнала стимуляции. Далее данные передаются в БОС, создается сигнал стимуляции нужной амплитуды, и, эти сигналы передаются пользователю через электроды стимуляции. Так как инвазивно стимулировать эксперимент невозможно, то предлагается просто передавать сигнал на вибродатчик с разной частотой вибрации. Это будет имитировать зависимость: чем сильнее было прикосновение – тем сильнее идет вибрация.

Создание блок-схемы работы тактильного модуля

Рассмотрим 2 варианта событий. Если модуль находится в движении: Собираем данные о положении модуля в ускорении, затем передаём данные с трёх каналов в алгоритм классификации, далее собираем данные с тензрезистора, после строим график деформации от времени (если не = 0, то передаём данные в алгоритм классификации, если = 0, то вывод на ПК «Ошибка, требуется проверка исправности элементов») Если модуль без движения: Собираем данные о положении модуля, затем собираем данные с тензорезистора, если нет нажатия, то возвращаемся к началу, если есть, то: строим график деформации от времени (если не = 0, то передаём данные в алгоритм классификации, если = 0, то вывод на ПК «Ошибка, требуется проверка исправности элементов»)



*Рисунок 1. Блок схема работы тактильного модуля*



*Рисунок 2. Схема алгоритма очувствления протеза*

Реализация биологической обратной связи — это перспективное направление для создания протезов, которые могут «чувствовать» пользователям с искусственной конечностью и снизить болевой синдром. Предложенный в работе модуль по очувствлению протеза предлагается для реабилитации и повышения качества жизни пользователей протезов.

**Используемые источники**

1. Митиенко Мария Владимировна, Одинцова Алена Сергеевна, Семыкина Дарья Андреевна АНАЛИЗ РЫНКА БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ // Скиф. 2021. №1 (53). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rynka-bionicheskih-protezov (дата обращения: 07.01.2025).
2. Уразбахтина Ю. О., Камалова К. Р., Морозова Е. С. БИОНИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ // МНИЖ. 2022. №1-2 (115). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bionicheskie-protezy-verhnih-konechnostey-sravnitelnyy-analiz-i-perspektivy-ispolzovaniya (дата обращения: 10.01.2025).
3. Мокиенко Олеся Александровна, Черникова Л. А., Фролов А. А. Интерфейс мозг-компьютер как новая технология нейрореабилитации // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2011. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/interfeys-mozg-kompyuter-kak-novaya-tehnologiya-neyroreabilitatsii (дата обращения: 18.01.2025).
4. Я А. Туровскии, К И. Фисенко Информационная система обратной связи в миоэлектрических протезах верхних конечностей // ВНМТ. 2018. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-sistema-obratnoi-svyazi-v-mioelektricheskih-protezah-verhnih-konechnostei (дата обращения: 22.01.2025).
5. Боргуль Александр Сергеевич, Зименко Константин Александрович, Маргун Алексей Анатольевич, Кремлев Артем Сергеевич Многофункциональный активный протез руки // Приборостроение. 2013. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnyy-aktivnyy-protez-ruki (дата обращения: 25.01.2025).
6. By Alves de Oliveira, T.E.; Rocha Lima, B.M.; Cretu, A.; Petriu, E. Tactile profile classification using a multimodal MEMs-based sensing module. In Proceedings of the 3rd International Electronic Conference on Sensors and Applications, 5–30 ноября 2016 URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/6/1187> (дата обращения: 10.02.2025)
7. Воротников Сергей Анатольевич, Струнин Вадим Сергеевич, Выборнов Николай Анатольевич Биометрическая система управления протезом руки // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/biometricheskaya-sistema-upravleniya-protezom-ruki (дата обращения: 01.02.2025).
8. Туровский Я. А., Фисенко К. И., Мамаев А. В. Локализация сигналов в системе тактильной обратной связи для миоэлектрических протезов верхних конечностей // Журнал медико-биологических исследований. 2019. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lokalizatsiya-signalov-v-sisteme-taktilnoy-obratnoy-svyazi-dlya-mioelektricheskih-protezov-verhnih-konechnostey (дата обращения: 04.02.2025).
9. Евгений Анатольевич Богданов, В А. Петров, С А. Ботман, В В. Сапунов, В А. Ступин, Е В. Силина, Т Г. Синельникова, М В. Патрушев, Н Н. Шушарина Разработка нейроустройства с биологической обратной связью для восполнения утраченных двигательных функций // Вестник РГМУ. 2016. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-neyroustroystva-s-biologicheskoy-obratnoy-svyazyu-dlya-vospolneniya-utrachennyh-dvigatelnyh-funktsiy (дата обращения: 07.02.2025).
10. <https://motorica.org/blog/tpost/1mbkjh0fme-fantomnie-boli-kak-s-nimi-spravitsya>