

Разработка системы регистрации миоэлектрического сигнала

Семчугова Р. О.¹, Ухов А. А.²

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Демидова Г. Л.³

¹СПбГУПТД ВШТЭ, ²СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ³Университет ИТМО

rsemchugova@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы выпускной квалификационной работы магистра «Разработка устройства получения и обработки биоэлектрических сигналов мышечной активности руки человека».

Введение

Потеря верхней конечности приводит не только к выраженным функциональным ограничениям, но и к неблагоприятным изменениям в центральной нервной системе, включая формирование фантомных болей [1]. Современные бионические протезы ориентированы на восстановление утраченных движений за счёт анализа биоэлектрических сигналов, генерируемых нервно-мышечной системой [2–4]. Наиболее доступным и безопасным способом получения управляющей информации остаётся поверхностная электромиография (ЭМГ), регистрирующая суммарную активность двигательных единиц [5]. Однако ЭМГ-сигнал характеризуется низкой амплитудой, широким частотным диапазоном и высокой чувствительностью к помехам различной природы, что существенно усложняет его интерпретацию [6]. В этой связи разработка надёжного модуля регистрации и первичной обработки ЭМГ-сигналов является актуальной научно-технической задачей.

Основная часть

В рамках исследования создан и экспериментально протестирован макет модуля биполярного способа поверхностной регистрации миоэлектрических сигналов, позволяющий частично компенсировать синфазные помехи и повысить информативность сигнала. Рассмотрены два варианта съёма: с использованием металлических проводников и с применением электродов, аналогичных кардиографическим датчикам [7]. При размещении электродов учитывались требования к их взаимному расположению, плотности прилегания и снижению переходного сопротивления «электрод–кожа» [8, 9]. Цифровая обработка миоэлектрического включала последовательное применение режекторного фильтра для подавления промышленной частоты [10], полосовой фильтрации, вейвлет-преобразования (вейвлет Добеши) и сглаживания методом скользящего среднего. Такой комплекс методов соответствует современным подходам к анализу ЭМГ-сигналов [11].

Выводы

Установлено, что исходный сигнал без обработки не позволяет достоверно выделить мышечную активность вследствие выраженных шумовых составляющих. После цифровой фильтрации выявляется амплитудная модуляция, коррелирующая с мышечным сокращением. Сравнительный анализ показал, что использование специализированных поверхностных электродов обеспечивает более высокое качество сигнала по сравнению с металлическими проводниками: отмечено снижение уровня спектральных помех и более чёткое выделение информативной компоненты. Разработанный макет модуля регистрации ЭМГ-сигналов может служить основой для построения систем управления бионическими протезами верхних конечностей. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода, включающего оптимизацию аппаратной части и алгоритмов цифровой обработки, в том числе с внедрением методов машинного обучения для адаптивной фильтрации и распознавания движений.

Литература

1. Aman M., Sporer M.E., Gstoettner C. [et al.]. Bionic hand as artificial organ: Current status and future perspectives // *Artificial Organs*. – 2019. – Vol. 43, № 2. – P. 109–118.
2. A complete guide to bionic arms and hands [Электронный ресурс] // *Disability Horizons*. – URL: <https://disabilityhorizons.com/2021/01/bionic-technology-amputees-disabilities>. (дата обращения: 17.02.2026).
3. Бионический протез кисти Manifesto Fingers [Электронный ресурс] // *Супер Моторика*. – URL: <https://motorica.org/prosthetics/upper-limb/manifesto-fingers> (дата обращения: 17.02.2026).
4. Горохова Н.М., Головин М.А., Чежин М.С. Методы управления протезами верхних конечностей // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 314–325.
5. De Luca C.J. The use of surface electromyography in biomechanics // *Journal of Applied Biomechanics*. – 1997. – Vol. 13, № 2. – P. 135–163.
6. Raez M.B.I., Hussain M.S., Mohd-Yasin F. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications // *Biological Procedures Online*. – 2006. – Vol. 8, № 1. – P. 11–25.
7. Герасимов В.А., Афанасьев П.В., Бохов О.С. [и др.]. Исследование возможности создания систем бесконтактного получения электрокардиограмм // *Биотехносфера*. – 2015. – № 3. – С. 2–6.
8. Зайченко К.В., Жаринов О.О., Кулин А.Н. [и др.]. Съём и обработка биоэлектрических сигналов. – Санкт-Петербург: СПбГУАП, 2001. – 140 с.
9. Костюченко В.Ф., Степанов В.С., Вадюхин С.В., Вадюхина С.Л. Методика регистрации электрической активности мышц при выполнении физических упражнений (ЭМГ) // *Учёные записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. – 2007. – № 9. – С. 52–56.
10. Симон В.А., Герасимов В.А., Кострин Д.К. [и др.]. Режекторный фильтр с настраиваемыми параметрами // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2017. – № 5. – С. 3–9.
11. Raez M.B.I., Hussain M.S., Mohd-Yasin F. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications // *Biological Procedures Online*. – 2006. – Vol. 8, № 1. – P. 11–25.