

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу **Унания Нарека Новлетовича**  
на тему «Методы и алгоритмы обработки электромиографического сигнала для управления механическими системами», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.1 – системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

### **Актуальность темы диссертации**

Развитие цифровых систем управления, микроэлектроники и робототехники позволяет активно внедрять новые методы управления роботизированными комплексами на производстве. Использование биологических сигналов человеческого тела, например, электромиографических сигналов (ЭМГ), позволяет вовлечь в производственные цепочки как здоровых людей, для выполнения антропоморфных действий, так и людей с ограниченными возможностями. ЭМГ сигналы нашли свое широкое применение в областях робототехники, реабилитации и протезирования. Несмотря на большое количество известных технических решений, многие коммерческие образцы механических систем и робототехнических изделий, использующие ЭМГ сигналы, являются достаточно дорогостоящими и могут выполнять лишь ограниченный набор заранее запрограммированных действий. Таким образом задача удешевления себестоимости механических систем, использующих в качестве управляющего сигнал ЭМГ, а также увеличение функциональных возможностей является чрезвычайно актуальной и в настоящее время.

Данное диссертационное исследование ставит перед собой сразу несколько задач, а именно, увеличение функциональных возможностей за счет увеличения числа свободных состояний, возможность работы в режиме реального времени и удешевление себестоимости за счет реализации блока управления на низкоразрядных микроконтроллерах.

### **Содержание работы, соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа состоит из 116 страниц, 49 иллюстраций, 7 таблиц, а список литературы насчитывает 128 наименований. Работа включает в себя введение, четыре главы, заключение и приложения с актами о внедрении и РИД.

Работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 по следующим пунктам:

П.5 Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

П.10 Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

Во введении описываются актуальность, значимость, научная новизна исследуемой проблемы, а также дается обзор методов и подходов к использованию биологических сигналов человека в мехатронике и робототехнике. Также во введении сформулированы основные положения, выносимые на защиту и рассмотрена структура работы.

Первая глава носит обзорный характер и содержит постановку задачи управления бионической кистью руки человека. В первой части первой главы рассмотрены основные методы обработки и классификации ЭМГ сигналов, применяемых на практике в настоящее время. Приводится краткое сравнение существующих решений в плане точности классификации отдельных жестов кисти руки. Во второй части главы описана механическая часть бионической кисти руки, для которой требуется разработать систему формирования команд от ЭМГ датчиков.

Вторая глава посвящена разработке оконно-амплитудного алгоритма классификации ЭМГ сигнала. Автором диссертационного исследования выбраны три положения пальца кисти руки. Такой выбор был обоснован возможностью реализации более плавных движений, чтобы приблизить механику робототехнического устройства к биомеханике человеческой кисти. В основе оконно-амплитудного алгоритма лежит положение о том, что увеличение силы действия ведет к увеличению амплитуды регистрируемого ЭМГ сигнала. Работоспособность метода была продемонстрирована экспериментально.

В третьей главе проводится анализ внешних возмущающих факторов, появляющихся в том числе при длительной работе с ЭМГ датчиками. Для минимизации воздействия данных факторов был предложен адаптивный алгоритм коррекции на основе подстраивания обученных параметров.

В четвертой главе более подробно рассматривается процесс разработки бионической кисти, решается кинематическая задача для определения положения пальцев при их сжатии, а также приводятся экспериментальные данные тестирования разработанного алгоритма.

Заключение содержит выводы о проделанной работе.

### **Новизна исследования и полученных результатов**

В ходе исследования был разработан новый алгоритм, который позволяет считывать ЭМГ сигналы для управления отдельными пальцами в нескольких положениях. В основе алгоритма лежит положение о том, что увеличение силы сокращения мышцы приводит к увеличению амплитуды ЭМГ сигнала, что явилось основой для формализации процедуры обучения классификатора. Также в работе были исследованы возмущающие факторы, оказывающие негативное влияние на качество классификации. Предложена процедура коррекции, которая не требует нового обучения классификатора.

### **Значимость полученных результатов**

Полученные результаты можно применять на производстве, в реабилитации и при протезировании верхних конечностей. Результаты работы используются в ООО «ПИК-модуль» и ООО «ИНТЕХ», что подтверждается имеющимися актами о внедрении результатов диссертационной работы. Достоверность полученных результатов обоснована экспериментальными исследованиями, представленными в работе.

### **Публикации, апробация работы и личное участие автора в получении результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 11 работ, получены 1 РИД и 2 акта внедрения. Среди опубликованных работ 5 журнальных статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах (Web of Science и Scopus), 6 статей в сборниках конференций (2 индексируются в Web of Science и Scopus, 4 индексируются в РИНЦ).

Все исследования, представленные в диссертационной работе, постановки и решения задач, эксперименты выполнены лично соискателем в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию без ссылки включен лишь тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

### **Замечания по диссертации и автореферату**

1. Автором в недостаточной мере акцентируется внимание на точностных характеристиках аппаратных средств, используемых в работе, а также к временным требованиям подачи управляющих команд исполнительному устройству. Также для безопасности использования рекомендуется добавление в схему подключения гальванической развязки.

2. Из текста диссертации не понятно, как на практике предполагается устанавливать электродные системы и определять их оптимальное расположение относительно активных при выполнении действия мышц. Будет ли требоваться обучение при повторной установке электродов?

3. В работе не совсем отражен вопрос о влиянии индивидуальных особенностей пациентов на точность работы рассматриваемых методов. В качестве рекомендации при дальнейшей работе можно предложить рассмотрение математических моделей формирования ЭМГ сигнала, например, для обоснования площади электродов и расстояния между ними.

4. В диссертации не рассмотрена возможность применения разработанных методов для действий кисти, помимо рассмотренных в работе, например, для сгибания-разгибания, ротации.

Указанные в отзыве недостатки носят частный, непринципиальный характер и не снижают общую оценку диссертации. В целом, описание работы характеризуется достаточной ясностью и логической стройностью.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Унаняна Нарека Новлетовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством кандидата физико-математических наук А.А. Белова, содержащей новые алгоритмы классификации электромиографических сигналов, имеющие существенное прикладное значение для использования в медицине и промышленности.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.1 – системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Текст диссертации характеризуется логичностью, последовательностью, ясностью. Используется лексика научного стиля. Выводы автора имеют под собой строгую научную основу. Мысли сформулированы ясно и изложены логично. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Унаняна Нарека Новлетовича «Методы и алгоритмы обработки электромиографического сигнала для управления механическими системами» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. № 842 (в редакции от 26.09.2022г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент,  
**Брико Андрей Николаевич**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры Медико-технических  
информационных технологий  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

  
/Брико А.Н./  
«18» января 2023 г.

Почтовый адрес: 105005, город Москва, 2-я Бауманская ул, д. 5 стр. 1

Адрес электронной почты: [briko@bmstu.ru](mailto:briko@bmstu.ru)

Телефон: +7 903 261 60 14

Адрес в сети Интернет: <https://bmstu.ru/>

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Подпись официального оппонента  
к.т.н. Брико А.Н.  
ЗАВЕРЯЮ



ЗАВЕРЯЮ

ДИРЕКТОР КАФЕДРЫ

И. В.

8-490-263-60-48