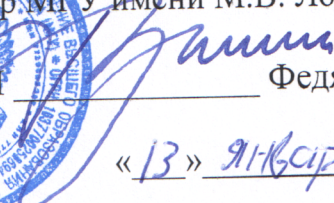


УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова  
профессор РАН  Федянин А.А.

«13» января 2023 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова»

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

#### **Актуальность темы диссертационной работы.**

Рост и массовое внедрение цифровых технологий и роботизированных систем в промышленности, реабилитации и медицине также включает разработку антропоморфных робототехнических устройств, управляемых с использованием биологических сигналов человеческого организма. Эти сигналы включают электроэнцефалографию, электроокулографию, электромиографию и другие. Использование электромиографических сигналов в робототехнике и механике позволяет формировать управляющие воздействия на основе уровня напряжения мышц. Кроме того, электромиография может сократить период реабилитации после инсульта, а также частично заменить или восстановить функции здоровых частей тела у людей с ограниченными возможностями. Кроме того, электромиографические сигналы могут быть успешно применены в промышленности.

Управление механическими системами с использованием электромиографии имеет множество преимуществ: простоту установки датчиков, относительную дешевизну аппаратуры, удобство формирования управляющих воздействий с помощью жестов. Несмотря на эти преимущества, в настоящее время все еще существует ряд проблем, связанных с обработкой и распознаванием мышечной активности на основе электромиографии. Среди таких задач следует выделить распознавание движений отдельных пальцев кисти руки, повышение надежности

классификации при воздействии внешних возмущающих факторов, а также снижение вычислительной сложности алгоритмов. Решению перечисленных выше задач посвящена диссертационная работа Унаняна Н.Н.

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

Диссертационная работа изложена на 116 страницах и содержит 49 иллюстраций, 7 таблиц, а список литературы насчитывает 128 наименований. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

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 обоснована актуальность и значимость исследуемой проблемы, приводится краткий обзор существующих методов и подходов к использованию биологических сигналов человека в хозяйственной деятельности, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен краткий обзор основных методов считывания и обработки электромиографических (ЭМГ) сигналов. В конце главы представлен прототип роботизированной бионической кисти руки человека с подробным описанием механических частей, для которого будет решена задача управления захватом с помощью миоэлектрических сигналов.

Во второй главе представлено описание оконно-амплитудного метода классификации ЭМГ сигнала. Описывается полный процесс обработки данных, начиная со считывания и заканчивая экспериментальной проверкой результатов, полученных на испытуемых. Представлены статистические данные эксперимента, а также рассмотрена возможность применения алгоритма в протезировании верхних конечностей.

Третья глава посвящена улучшению надежности оконно-амплитудного алгоритма классификации сигнала ЭМГ в условиях воздействия внешних возмущающих факторов, которые могут влиять на точность классификации. Рассмотрены и изучены такие факторы, как усталость мышц, потовыделение, неисправность и смещение ЭМГ датчика. Предложены методы, которые помогут улучшить надежность алгоритма и определить отказы.

В четвертой главе рассматривается использование оконно-амплитудного алгоритма для управления механической системой на примере пятизахватного механизма. Представлены результаты экспериментальных исследований, которые показывают эффективность разработанного алгоритма классификации ЭМГ и возможность его реализации в режиме реального времени.

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

В результате исследований автором предложен новый метод определения мышечной активности отдельных пальцев руки, основанный на измерении амплитуды электромиографического сигнала, считываемого с поверхности кожи. Формализована процедура обучения при решении задач классификации электромиографических сигналов. Исследованы внешние факторы, которые могут влиять на качество классификации электромиографического сигнала, такие как усталость мышц и потовыделение. Предложена схема улучшения надежности, которая компенсирует воздействие внешних возмущающих факторов.

### **Значимость полученных результатов.**

Значимость полученных результатов состоит в возможности практического использования методов распознавания и классификации в робототехнических устройствах, использующих низкоразрядные микроконтроллеры. Результаты работы использованы в ООО «ПИК-модуль» и ООО «ИНТЕХ», что подтверждается имеющимися актами о внедрении результатов диссертационной работы. На основе теоретических и практических результатов диссертационной работы построены и используются экспериментальные устройства автоматизации процесса укладки плитки и система диагностики и реабилитации мышц тазового дна. Достоверность полученных результатов обоснована многочисленными экспериментальными исследованиями.

### **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).

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих всероссийских и международных конференциях: 21th International Carpathian Control Conference (ICCC 2020), Slovakia, 2020; 20th International Carpathian Control Conference (ICCC 2019), Poland, 2019; 15-й Международной конференции «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления» (конференция Пятницкого), Москва, 2020; 13-й Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2020). Санкт-Петербург, 2020; Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского, Москва 2019; 20th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, Moscow 2021.

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.

#### **Связь с планами научных исследований.**

Диссертационное исследование было поддержано в рамках фундаментальных исследований грантом РФФИ (19-38-90293) и грантом РНФ (18-71-00105).

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.**

Результаты диссертационной работы предлагается использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при проектировании антропоморфных робототехнических систем, медицинской технике и протезировании верхних конечностей.

#### **Недостатки диссертационной работы.**

По тексту работы можно высказать ряд замечаний:

1. В работе не указано, на каких данных обучалась искусственная нейронная сеть (ИНС). Также из работы не ясно, каким образом будет проводиться обучение ИНС при протезировании верхних конечностей.
2. Автором не объясняется, позволяет ли предложенный подход распознавать усилие, прикладываемое при сокращении мышцы.
3. В работе отсутствует сравнение с другими методами копирующего управления механическими системами, например, с использованием инерциального отслеживания движений.
4. В работе присутствует ряд опечаток.

На все замечания были представлены подробные комментарии. Присутствующие на заседании были удовлетворены ответами докладчика.

#### **Заключение.**

Диссертация Унаняна Нарека Новлетовича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые алгоритмы и подходы к обработке электромиографических сигналов, имеющие важное прикладное значение. Автореферат диссертации в достаточном объеме отражает основные результаты, полученные в работе. Высказанные замечания не снижают общее положительное впечатление от работы. Таким образом, диссертационная работа Унаняна Н.Н. «Методы и алгоритмы обработки электромиографического сигнала для управления механическими системами» соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским

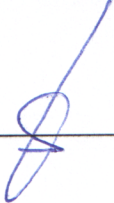
диссертациям. Унанян Нарек Новлетович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Доклад по диссертации заслушан, отзыв рассмотрен и обсужден на семинаре имени А.Ю. Ишлинского по прикладной механике и управлению отделения механики механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова» от «07» декабря 2022, протокол № 9-22/23 от 7.12.2022. Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором Лемаком Степаном Степановичем.

Отзыв одобрен в качестве отзыва ведущей организации.

Профессор кафедры прикладной  
механики и управления механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук

тел. +7-905-504-06-37  
e-mail: [lemaks2004@mail.ru](mailto:lemaks2004@mail.ru)

  
С.С. Лемак

Ученый секретарь кафедры прикладной  
механики и управления механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,

доцент

  
П.А. Кручинин

Отзыв заверил:  
Декан механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова

чл.-корр. РАН

  
  
А.И. Шафаревич