

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

24.1.107.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета № 3 от 16.02.2023г.

О присуждении Унаняну Нареку Новлетовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы обработки электромиографического сигнала для управления механическими системами» по специальности 2.3.1 – системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) принята к защите 27.10.2022 г., протокол № 11 диссертационным советом 24.1.107.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук по адресу 1171997, г. Москва, ул. Профсоюзная 65, утвержденным Приказом ВАК № 1223-в от 29.12.2000 г., перерегистрирован 11.04.2012 г., Приказ № 105НК и Приказ № 561/НК от 03.06.2021 г.

Соискатель Унанян Нарек Новлетович 1994 года рождения окончил бакалавриат кафедры «Мехатроника и робототехника» Машиностроительного факультета в 2015 г. и магистратуру на кафедре «Системы автоматического управления» факультета Электроники, информатики и управления Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) 21 октября 2021 г. В настоящее время работает в Лаборатории №1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б. Н. Петрова» ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова» Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Лаборатории №1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б. Н. Петрова» ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова» Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук **Белов Алексей Анатольевич**, старший научный сотрудник Лаборатории №1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б. Н. Петрова» ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова» Российской академии наук.

Официальные оппоненты

1. **Жиравок Алексей Нилович**, д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»;

2. **Брико Андрей Николаевич**, к.т.н., доцент, зам. зав. кафедрой «Медико-технические информационные технологии» (БМТ2) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» дали положительные отзывы.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» в своем положительном заключении, подписанном профессором кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета д.ф.-м.н. Лемаком С.С., ученым секретарем кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета доцентом Кручининым П.А., заверенным деканом механико-математического факультета чл.-корр. РАН Шафаревичем А.И. и утвержденном проектором Федяниным А.А., указала, что диссертация Н.Н. Унаняна является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые алгоритмы и подходы к обработке электромиографических сигналов, имеющие важное прикладное значение. Результаты диссертационной работы предлагается использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при проектировании антропоморфных робототехнических систем, медицинской техники и протезировании верхних конечностей.

Заключение ведущей организации содержит следующие замечания:

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.

Отмечено, что указанные недостатки несколько не снижают ценности диссертационной работы Унаняна Н.Н.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, в том, оформлено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, в том числе 4 журнальных статей в рецензируемых изданиях (индекси-

руются в Web of Science, Scopus), 7 статей в сборниках конференций (2 индексируются в Web of Science и Scopus, 5 конференции индексируются в РИНЦ).

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:

1. Unanyan N. Anthropomorphic Arm Control System with Remote Gesture Tracking/ N. Unanyan, A. Belov // IFAC-PapersOnLine. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Ltd.- 2021.- V. 54.- Iss. 13.- pp. 443-448, 2021. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.488
2. Unanyan N. Design of upper limb prosthesis using real-time motion detection method based on EMGsignal processing/ N. Unanyan, A. Belov // Biomedical Signal Processing and Control. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science Publishing Company.- 2021.- V. 70. pp. 103062 (1-11). DOI: 10.1016/j.bspc.2021.103062
3. Unanyan N. Case Study: Influence of Muscle Fatigue and Perspiration on the Recognition of the EMG Signal/ N. Unanyan, A. Belov // Advances in Systems Science and Applications.- 2011.- V. 21.- No. 2.- pp. 58-70 (1-13). <https://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa/article/view/1053>. DOI: 10.25728/assa.2021.21.2.1053
4. Unanyan N. Low-Price Prosthetic Hand Controlled by EMG Signals/ N. Unanyan, A. Belov // IFAC-PapersOnLine. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Ltd.- 2021.- V. 54.- Iss. 13.- pp. 299-304. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.463
5. Unanyan N. A Real-Time Fail-Safe Algorithm for Decoding of Myoelectric Signals to Control a Prosthetic Arm/ N. Unanyan, A. Belov // Proceedings of the 21th International Carpathian Control Conference ICCS.- 2020.- pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICCC49264.2020.9257287
6. Unanyan N. Signal-Based Approach to EMG-Sensor Fault Detection in Upper Limb Prosthetics/N. Unanyan, A. Belov // Proceedings of the 20th International Carpathian Control Conference (ICCC 2019, Krakow-Wieliczka, Poland).- 2019.- pp. 1–6. DOI: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765960

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. Все отзывы положительные.

Отзывы с замечаниями:

1. Отзыв на автореферат доктора компьютерных наук, старшего преподавателя Сколковского института науки и технологий **Грязиной Е.Н.** содержит следующие замечания:

- Из автореферата не очень ясна схема, по которой производится коррекция пороговых значений, представленных в формуле (14).
- В работе не приведены характеристики ЭМГ датчиков, с помощью которых производится исследование сигнала.

2. Отзыв на автореферат к.т.н., доцента Университета ИТМО **Юрьевой Р.А.** содержит следующие замечания:

- Из автореферата неясно, каким образом будет набираться обучающая выборка в задаче коррекции границ при воздействии внешних возмущающих воздействий.
- Не рассмотрено, как разработанный метод классификации можно применять в задачах распознавания жестов при управлении бионическими манипуляторами.

3. Отзыв на автореферат к.т.н., доцента Университета МАИ **Бодункова Н.Е.** содержит следующие замечания:

- В тексте автореферата отсутствуют требования к работе разрабатываемой системы – точности, быстродействию, а также не описаны сценарии и условия применения. Данный факт затрудняет оценку представленных результатов;
- В автореферате не показано, что подразумевается под (реальным временем) при классификации жестов. Отсутствует анализ быстродействия классификатора. В разделе экспериментов с реальным схватом отсутствует анализ задержек между моментом регистрации сигнала и реакцией манипулятора;
- Очевидно, что предложенная классификация (три состояния на каждый палец) ограничивает точность воспроизведения жеста. Также возможности системы ограничены движением пальца в одной плоскости. Однако в автореферате отсутствует анализ возможности расширения количества используемых жестов;
- Приведенные на стр. 16 автореферата производственные правила для плавного разгона и ускорения формально не являются «нечеткими» (хотя в тексте заявлено обратное);
- В автореферате отсутствует сравнение точности разработанного метода с точностью методов обработки ЭМГ сигналов, заданных формулами (1)-(9).

4. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., доцент Физико-технологического института ФГАОУ ВО **Козловой М.Г.** содержит следующие замечания:

- Наличие опечаток;
- Отсутствие пояснения о том, каким образом производилось вычисление ошибки классификации в главе 2;
- Отсутствие статистических исследований метода коррекции, предложенного в главе 3.

5. Отзыв на автореферат д.ф.-м.н., профессор университета Высшая школа экономики **Зотова Л.В.** содержит следующие замечания:

- Наличие опечаток;
- Отсутствие обозначений «а» и «б» на рисунке 6. В тексте диссертации эти обозначения есть.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается профилем их научной деятельности и профессиональных интересов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **проведен анализ** существующих методов и подходов к обработке и классификации электромиографических сигналов;
- **разработан** оконно-амплитудный метод классификации мышечной активности на основе электромиографического сигнала;
- **проведено исследование** внешних возмущающих факторов и влияния, которые они оказывают на качество классификации;
- **предложен** метод и алгоритм адаптивной коррекции пороговых значений классификатора для повышения надежности классификации;
- **разработана** система управления пятизахватным механизмом для практической апробации полученных алгоритмов классификации электромиографического сигнала;
- **созданы и внедрены** в практику методы классификации электромиографического сигнала, основанные на предложенном оконно-амплитудном методе;
- на многочисленных примерах **показана** эффективность решения задачи идентификации мышечной активности и классификации электромиографического сигнала на основе предложенных методов и алгоритмов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Теоретические результаты, полученные в части алгоритмов относительного классификации электромиографических сигналов, могут быть использованы при разработке антропоморфных робототехнических систем, копирующих манипуляторов и в протезировании верхних конечностей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **созданы и внедрены алгоритмы** классификации электромиографических сигналов для определения мышечной активности;
- **разработано и собрано** захватное устройство, работающее в режиме реального времени и использующее предложенные алгоритмы классификации;
- подтверждением практической ценности результатов диссертационной работы являются акты внедрения в ООО «ПИК-модуль» и ООО «ИНТЕХ».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **методы и подходы**, лежащие в основе разработанных алгоритмов, основываются на адекватных постановках задач и согласуются с данными публикаций по тематике диссертации;
- **идеи базируются** на эвристических методах и подходах к классификации электромиографических сигналов;

- **теоретические результаты и выводы диссертационной работы** основаны на проверяемых данных и согласуются с опубликованными результатами по теме;

- **научные результаты**, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные положения и выводы подтверждены результатами математического и компьютерного моделирования, а также экспериментальными исследованиями.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельном получении всех основных результатов диссертационного исследования, а именно:

- в анализе предметной области;
- в разработке новых методов и алгоритмов анализа и классификации электромиографических сигналов;
- в разработке протокола эксперимента, проведении экспериментальных и статистических исследований для проверки работоспособности и эффективности предложенных алгоритмов классификации;
- в подготовке публикаций по теме исследования;
- разработке и сборке экспериментального стенда для проверки работоспособности предложенных алгоритмов в режиме реального времени.
- апробации результатов научного исследования в докладах на научных конференциях.

Личное авторство всех результатов, выносимых на защиту, подтверждается публикациями статей в рецензируемых журналах и докладами на всероссийских и международных конференциях.

На заседании 16 февраля 2023 г. Диссертационный совет постановил за научно-обоснованное техническое решение задач классификации электромиографических сигналов в режиме реального времени, имеющих существенное значение для развития робототехники и медицинской техники, присудить Унаняну Н.Н. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.3.1, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 17, против – 2, недействительных бюллетеней – 1.

Зам. директора по научной работе

д.т.н.  С.А. Краснова

Председатель диссертационного совета
24.1.107.01

д.т.н.  Б.В. Павлов

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета
24.1.107.01

д.т.н.  С.А. Кочетков

16.02.2023 г.