

Отзыв официального оппонента  
на диссертацию **Унаняна 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).

При решении задач проектирования и управления механическими системами в последние десятилетия большую популярность набирают методы и подходы формирования команд на основе биоэлектрических сигналов. Электромиография (ЭМГ) позволяет считывать сигналы, образующиеся при мышечном сокращении, что делает возможным отслеживать жесты человека в режиме реального времени. Такой подход к управлению механическими системами является привлекательным по ряду причин, в частности, по простоте управления оператором и скорости воспроизведения жестов. Однако в этой области имеется ряд проблем, связанных с необходимостью обработки больших массивов данных при распознавании мышечной активности, а также наличием возмущающих факторов, снижающих точность распознавание и надежность работы таких систем. Поэтому диссертацию Унаняна Н.Н., направленную на решение этих проблем, следует безусловно признать актуальной.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из 116 страниц, включает в себя 49 иллюстраций и 7 таблиц. Список литературы состоит из 128 источников. Структура работы следующая: введение, четыре главы, заключение и приложения.

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.

Введение диссертации посвящено краткому изложению актуальности рассматриваемых дальше проблем. Также во введении сформулированы цели и задачи исследования, рассмотрены положения, выносимые на защиту, а также описан личный вклад соискателя и доля его участия в работе.

В первой главе приводится обзор существующих методов к обработке и классификации ЭМГ сигналов, а также дается краткая историческая

справка о развитии электромиографии. В конце главы описан прототип механической системы в виде бионического захватного манипулятора, который будет использован для экспериментальной апробации предложенных в работе методов классификации ЭМГ сигналов.

Во второй главе предложен оконно-амплитудный метод классификации ЭМГ сигнала. В качестве классов, подлежащих распознаванию, выбраны три положения пальца кисти руки: расслабленный, частично согнутый и полностью согнутый. Такой выбор классов объясняется желанием добиться более плавного движения захватного устройства по сравнению с аналогами. Обучение классификатора производится с помощью тестовой выборки и заключается в поиске пороговых значений амплитуд ЭМГ сигнала, при которых осуществляется отнесение мышечной активности к одному из трех классов. Также в данной главе описан эксперимент, с помощью которого проведено статистическое исследование, подтверждающее эффективность предложенного метода классификации, а также исследована точность классификации.

Третья глава посвящена вопросам повышения надежности и точности классификации в условиях действия внешних возмущающих факторов, появляющихся в процессе использования устройства, а также при наличии отказов оборудования. Автор диссертационной работы выбрал и исследовал четыре фактора: мышечная усталость, выделение пота в местах контакта кожных покровов и датчика ЭМГ, отказ датчика, смещение датчика. Для первых двух факторов была предложена схема коррекции пороговых весов классификатора, не требующая нового обучения классификатора. Проведен анализ, дающий представление о качестве классификации после применения такой коррекции. Кроме того, был разработан алгоритм диагностики ЭМГ датчиков, который позволяет выявлять отказы оборудования.

В четвертой главе описан процесс проектирования захватного манипулятора для экспериментальной апробации разработанных алгоритмов, а также приведены графики полученных экспериментальных результатов.

Заключение содержит выводы о проделанной работе, а приложения – копии актов о внедрении.

### **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). СанктПетербург, 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.

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

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

В работе предложен новый оконно-амплитудный метод классификации ЭМГ сигналов, а также рассмотрен пример классификации трех положений пальцев кисти руки. Для предложенного алгоритма была формализована процедура обучения классификатора на тестовой выборке. Был предложен метод диагностики ЭМГ датчиков, а также метод адаптивной коррекции при наличии мышечной усталости или выделений пота в местах крепления датчиков.

### **Значимость и достоверность полученных результатов**

В ходе работы была решена задача классификации ЭМГ сигналов, поступающих от мышц, отвечающих за движение отдельных пальцев руки. Такая задача является достаточно сложной, так как сгибатели пальцев лежат в глубоких слоях мышц. Полученные в ходе работы результаты не уступают по точности современным аналогам при одновременной простоте реализации. Разработанный метод классификации был успешно внедрен в ООО «ПИК-модуль» и ООО «ИНТЕХ», что подтверждается имеющимися актами о внедрении результатов диссертационной работы. Достоверность полученных результатов подтверждается экспериментальными данными, а также статистическими исследованиями на различных испытуемых.

К работе имеются следующие замечания.

1. В работе акцент сделан на методы обработки на низкоразрядных микроконтроллерах. По мнению оппонента, это не вполне оправдано, поскольку более важными проблемами являются точность распознавания и надежность работы системы. Технические средства обработки развиваются достаточно быстро, и даже сложные алгоритмы в ближайшей перспективе

могут быть реализованы за приемлемое время. К этому стоит добавить, что в выводах к главе 2 говорится о низкой вычислительной сложности разработанного алгоритма, но это не подкрепляется соответствующими расчетами и обоснованным сравнением с известными алгоритмами.

2. В формуле (2.1) не указано нижнее значение индекса « $k$ », что очень важно в этой формуле, и только по термину «скользящее среднее» можно догадаться, о каком значении идет речь. Представляется также, что отмеченная формула получена из эвристических соображений, и эти соображения было бы желательно изложить в тексте работы.

3. Результаты третьей главы приводятся для экспериментальных данных, снятых с одного испытуемого. Такой подход является не репрезентативным, в исследовании должно быть задействовано большее число испытуемых.

4. В процессе работы автором был спроектирован и изготовлен механизм руки; хотя это результат не является защищаемым, было бы желательно сравнить этот механизм с аналогами.

5. На стр. 44 и 48 поставлены задачи оптимизации некоторых параметров алгоритма, однако реально найдены только некоторые приемлемые их значения.

6. Рис. 2.16 вызывает вопрос: почему для наполовину напряженных мышц дисперсия ошибки идентификации меньше, чем у расслабленных? Ведь в тексте утверждается обратное.

7. Следовало бы пояснить понятие  $\Delta$ -слоя, введенное на стр. 70. Также непонятно, почему при уменьшении его среднего значения делается заключение о неисправности датчика.

8. Желательно было бы привести детальный анализ рис. 3.8 и 3.9, комментариев в тексте явно не достаточно.

9. Представляется, что решение прямой и обратной задач кинематики в пятой главе необходимо в случае, когда управление протезом осуществляется не мышцами руки, а некоторой системой управления. Об этом следовало бы сказать явным образом. Кроме того, решения этих задач могут быть найдены аналитически, хотя автор использует линейную аппроксимацию решения. Следует прокомментировать данный факт.


## **Заключение**

Диссертация Унаняна Нарека Новлетовича является самостоятельной научно-квалификационной работой. Полученные результаты являются эвристическими и имеют важное прикладное значение. Результаты, представленные в работе, были опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых изданиях, а также докладывались на всероссийских и международных конференциях. Высказанные замечания не влияют на достоверность и значимость полученных результатов.

Диссертационная работа Унаняна Н.Н. «Методы и алгоритмы обработки электромиографического сигнала для управления механическими

системами» соответствует Положению о присуждении ученых степеней и отвечает требованиям ВАК, 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).

Официальный оппонент  
Профессор департамента  
автоматики и робототехники,  
ФГАОУ ВО «Дальневосточный  
федеральный университет»,  
д.т.н., профессор

 /Жирабок А.Н./

«11» января 2023 г.

Адрес: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

Адрес в сети Интернет: <https://www.dvfu.ru/>

Тел. (423) 2652429

Эл. почта: [zhirabok@mail.ru](mailto:zhirabok@mail.ru)

