

**Відгук офіційного опонента –
доктора технічних наук, професора Купіна Андрія Івановича
на дисертацію П'ятаченка Владислава Юрійовича
«Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою
керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»**

Актуальність теми дослідження

У наш час для сучасного співвідношення вага людей з особливими потребами (зокрема інвалідів) може сягати 10-15% (за даними ВОЗ). Для України цей показник на початку 2022 р. був на рівні приблизно 6%. Але в теперішніх умовах війни ця цифра, на жаль, буде мати тенденцію до збільшення. Тому надання інтелектуальної складової системі керування протезом кінцівки з неінвазивною системою зчитування електроміографічних (ЕМГ) сигналів має важливе соціальне значення, особливо за умови ведення бойових дій при обороні України від російського агресора.

Найбільш широко використовувана схема керування біонічними руками включає ідентифікацію моделей м'язових сигналів, отриманих за допомогою електроміографії. У результаті скорочення і розслаблення м'язів утворюються сигнали, класифікація яких за відомим набором класів забезпечує рух протезу. Природа електроміографічного сигналу та технології його реєстрації ускладнюють використання ЕМГ-сигналу для керування протезом, оскільки значення електроімпульсів, отриманих від м'язів, містять шуми та завади. Обмеженість керуючих впливів з боку людини в поєднанні зі складністю контролю, необхідного для виконання складних завдань, вимагає рішення, яке може інтерпретувати наміри людини і дозволяє протезу виконувати складні завдання з певним ступенем автономії, обумовленим інтерпретованими намірами людини. Алгоритми машинного навчання здатні виявляти непомітні варіації в заданому наборі зразків електроміографічних сигналів і можуть забезпечити стійкість та адаптивність до багатовимірності даних.

Разом з тим такі підходи є досить новітнім та недостатньо розвиненими в обраній автором галузі біомехатроніки. Зокрема вимагає розробки нових моделей і вдосконалення існуючих методів, засобів інформаційних технологій для аналізу і розробки системи керування протезом кінцівок на основі електроміографічних біосигналів з неінвазивною системою зчитування.

У дисертаційному дослідженні П'ятаченка В.Ю. на тему «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів» саме розглядається метод класифікації рухів за сигналами поверхневої електроміограми в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології, яка ґрунтується на максимізації кількості інформації в процесі машинного навчання. Такий підхід є досить перспективним напрямом подальшого розвитку інтелектуальних інформаційних технологій аналізу даних. На відміну від штучних нейронних мереж моделює безпосередньо механізм формування та прийняття рішень природнього інтелекту, що має місце при розпізнаванні ЕМГ-сигналів. Тому тема дисертаційної роботи П'ятаченка В. Ю., присвячена дослідженню та розробленню моделей і методів інформаційної технології для аналізу і розробки системи керування протезом кінцівки руки на основі електроміографічних біосигналів, які аналізуються і перетворюються неінвазивною системою зчитування, є **актуальною**. Таке дослідження має наукове та практичне значення і сприяє подальшому розвитку технологій протезування та поліпшенню якості життя людей, які мають втрати кінцівок руки.

Наукова новизна результатів дослідження

Автором вперше розроблено функціональні категорійні моделі і на їх основі створено метод інформаційно-екстремального машинного навчання за ієрархічною структурою даних у вигляді декурсивного бінарного дерева, який відрізняється способом побудови декурсивного дерева, що дозволяє оптимізувати його структуру. У результаті цього підвищується достовірність та оперативність розпізнавання електроміографічних біосигналів та забезпечити гнучкість при перенавчанні через розширення алфавіту класів розпізнавання.

Вперше розроблено модель та метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією рівня квантування електроміографічних біосигналів, що дозволяє збільшити повну ймовірність правильного прийняття класифікаційних рішень через використання зрідженої навчальної матриці.

Удосконалено метод інформаційно-екстремального машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки з оптимізацією періоду квантування за часом електроміографічного біосигналу.

Отримав подальший розвиток метод агломеративного кластер-аналізу, що дозволяє автоматично формувати ієрархічну структуру найближчих сусідніх класів розпізнавання для машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки з неінвазивною системою зчитування біосигналів.

Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 173 сторінок, з яких основний текст займає 118 сторінок, список використаних джерел становить 254 найменування.

Дисертація написана послідовно за формально-логічною структурою з дотриманням наукового стилю викладення в ній матеріалів, досліджень, наукових положень та висновків, що забезпечує доступність їх сприйняття.

Вступ дисертаційної роботи містить загальну характеристику роботи та обґрунтування актуальності обраної теми досліджень. Автором сформульована мета та задачі досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими планами, відображена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасних біонічних протезів кінцівки руки, здатних розпізнавати електроміографічні сигнали за імпульсами зі шкіри. У рамках розділу детально проаналізовано існуючі системи керування протезами кінцівки руки, методи обробки та фільтрації електроміографічних сигналів та підходи до їх розпізнавання.

У *другому розділі* дисертації проаналізовано особливості процесу розпізнавання електроміографічних біосигналів інтелектуальною системою керування протезом кінцівки руки, формування вхідного математичного опису

системи та критерії оцінювання ефективності моделей машинного навчання системи.

У *третьому розділі* дисертації запропоновано алгоритми оптимізації параметрів машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки для розпізнавання біосигналів електроміографічних датчиків. Зокрема розглянуто процес машинного навчання системи з формуванням ієрархічної структури класів розпізнавання та вплив процесу квантування вхідного сигналу електроміографічних датчиків.

Четвертий розділ дисертації присвячено інформаційному та програмному забезпеченню інтелектуальної системи керування протезом кінцівки руки. Автором розроблені структурні та функціональні схеми, представлено деталі реалізації інформаційного та програмного забезпечення, запропоновано програмну реалізацію системи машинного навчання та формування вирішальних правил для розпізнавання електроміографічних сигналів протезом кінцівки руки.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи та зв'язок з науковими програмами та темами

Дисертаційне дослідження відповідає пріоритетним напрямкам наукових досліджень Сумського державного університету, зокрема держбюджетним науково-дослідним роботам «Інтелектуальний протез кінцівки, що самонавчається» (ДР № 0117U002248) та «Інформаційна технологія автономної навігації безпілотного літального апарату за наземними природними та інфраструктурними орієнтирами» (ДР № 0122U000786).

На основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів реалізовано засоби інформаційної технології машинного навчання системи керування протезом кінцівки руки, які включають модулі формування вхідного математичного опису, машинного навчання, побудови вирішальних правил та функціонування системи в режимах функціонального тестування та екзамену.

Одержані наукові результати досліджень у вигляді інформаційного та програмного забезпечення впроваджено в план дослідно-конструкторських

робіт ТОВ «НВП «Метекол» та в навчальний процес Сумського державного університету.

Академічна доброчесність

Ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства не виявлено.

Зауваження до дисертаційної роботи

Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих дисертантом результатів, варто зазначити наступні дискусійні положення та зауваження до змісту дисертаційної роботи П'ятаченка В.Ю. «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів»:

1. Автором на с.19 сформульовано 6 задач для дослідження. Але при цьому робота містить 4 основних розділи. Зазвичай рекомендується паритетна кількість таких задач та їх відповідність розділам.

2. В першому розділі дисертації запропоновано ряд рішень щодо фільтрації електроміографічного сигналу частотними фільтрами, проте в роботі відсутні порівняння якості роботи системи розпізнавання за різними алгоритмами обробки сигналу з наведеного набору. В цілому цей розділ перевищує 20 % від основної частини дисертації.

3. Дискусійним питанням є подане у пункті 2 висновків до першого розділу ствердження, що “вхідний математичний опис системи представляє електроміографічний сигнал, зареєстрований зі шкіри людини”. На думку опонента, у структуру вхідного математичного опису системи, що навчається, входять також алфавіт класів розпізнавання і відповідно навчальна матриця, яка відбиває властивості об’єкту, що досліджується.

4. У розділі 2 на рисунку 2.3 "ЕМГ-сигнали з ділянками непропорційностей" на ділянках непропорційностей ЕМГ сигнали співпадають, тому їх варто називати "ділянками пропорційними".

5. У роботі має місце невиправдана нумерація формул. Наприклад, вирази 3.3, 3.4, 3.15 та 3.16 в подальшому тексті не використовуються. Також у більшості формул відсутні одиниці вимірювання, що дещо ускладнює їх інтерпретацію.

6. У процедурі (3.13) машинного навчання з паралельною оптимізацією системи контрольних допусків показано, що параметр значення поля допуску змінюється для кожної ознаки розпізнавання. Водночас, в роботі вказано, що при паралельній оптимізації контрольні допуски для всіх ознак змінюються одночасно. Тому вважаю, що ця формула потребує уточнення.

7. На рисунку 3.2, де подана схема симетричного поля допусків на ознаки розпізнавання, слід було б схему прив'язати до конкретної ознаки, для якої побудоване це поле.

8. У тексті дисертації на с.128 вказується поділ даних на "630 реалізацій для навчальної матриці, 90 для валідаційної та 90 для тестової", що представляє собою навчальну вибірку з 80% даних, валідаційну з 10% та тестову 10%, але для значних за обсягом наборів даних доцільно розглядати поділ з більшим обсягом тестових даних, як правило не менше 20%.

9. У четвертому пункті основних висновків доцільно було б вказати позитивний ефект, який надає розроблений метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією рівня квантування ЕМГ-сигналу для формування розрідженої навчальної матриці.

10. В описі актуальності, наукових положення та висновках роботи бракує конкретних чисельних показників, які підкреслюють ефективність запропонованих рішень автора. Хоча ці показники присутні в основному тексті роботи в достатній кількості. Також деякі висновки мають характер простих анотацій (наприклад, висновки №№4-5, с.122; №1, с.132 тощо).

11. Редакції основної наукової задачі дисертації у преамбулі загальних висновків (с.133) та у вступі (с.18) дещо відрізняються. Причому перше формулювання задачі більш точно відповідає сутності роботи.

Зазначені зауваження не зменшують наукової цінності поданої до захисту дисертаційної роботи П'ятаченка Владислава Юрійовича, в якій представлено актуальне дослідження, що має як теоретичне, так практичне значення.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України

Дисертація В.Ю. П'ятаченка на тему «Моделі та методи інформаційної технології розпізнавання системою керування протезом кінцівки руки електроміографічних біосигналів», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» є завершеним дослідженням, яке містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що спрямовані на вирішення актуального наукового завдання розпізнавання електроміографічних біосигналів протезом кінцівки за електроімпульсами зі шкіри людини.

Під час аналізу дисертаційної роботи випадків порушення академічної доброчесності виявлено не було.

Дисертаційна робота П'ятаченка Владислава Юрійовича за актуальністю проблеми, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих даних, повнотою викладу принципів наукових положень, науково-теоретичним та практичним значенням повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а дисертант, П'ятаченко Владислав Юрійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Криворізького національного університету МОНУ Андрій КУПШ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАГАЛЬНИЙ ВІДДІЛ
Інформаційний код 3766469

Підпис _____

ЗАСВІДЧУЮ:
Учений секретар
Криворізького національного
університету
_____ М.В. Угдзик

« _____ » _____ 20 _____ р.