

Голові разової спеціалізованої вченої ради PhD 15020
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н, професору
Литвиненку Ярославу Володимировичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента **Хвостівської Лілії Володимирівни**
на дисертаційну роботу
Ковалика Сергія Васильовича
«Методи та засоби відбору й обробки біосигналів для задачі керування біонічним
протезом кисті людини»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія»
за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами

Сучасний розвиток біомедичної інженерії характеризується активним впровадженням інформаційних технологій, методів цифрової обробки сигналів, математичного моделювання, інтелектуальних систем керування та сенсорних технологій у задачах медичної реабілітації та біопротезування. Одним із найбільш актуальних напрямів є створення ефективних систем керування біонічними протезами верхніх кінцівок, здатних забезпечувати природність рухів, адаптивну взаємодію користувача з протезом та реалізацію сенсорного зворотного зв'язку.

Особливої актуальності ця проблема набула в Україні внаслідок збільшення кількості осіб з ампутаціями, що зумовлює необхідність розвитку сучасних засобів протезування та реабілітації. При цьому одним із ключових елементів біонічного протеза є система керування, ефективність якої значною мірою визначається якістю відбору та обробки біосигналів.

Сигнали поверхневої електроміографії є основним джерелом інформації про наміри користувача, однак їх використання супроводжується низкою проблем, пов'язаних із недостатньою інформативністю сигналів, впливом шумів та артефактів, індивідуальними фізіологічними особливостями користувача та складністю забезпечення роботи системи в режимі реального часу. Перспективним напрямом підвищення ефективності систем біокерування є інтеграція каналів сенсорного зворотного зв'язку, що дає змогу покращити точність та стабільність керування біонічним протезом.

Тема дисертаційної роботи відповідає фокусу освітньо-наукової програми «Біомедична інженерія» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія», яка передбачає підготовку фахівців, здатних розв'язувати комплексні науково-прикладні задачі у сфері біомедичної інженерії, інформаційних технологій та реабілітаційної інженерії, проводити власні наукові дослідження, а також розробляти сучасні методи та засоби обробки біомедичної інформації.

Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукових напрямів, пов'язаних із розробленням методів і засобів відбору, обробки та аналізу біосигналів, систем біокерування та інформаційних технологій у задачах медичної реабілітації, що підтверджує його відповідність сучасним тенденціям розвитку біомедичної інженерії та практичним потребам галузі.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною, має важливе наукове та практичне значення та відповідає сучасним напрямам розвитку біомедичної інженерії, інформаційних технологій і реабілітаційної інженерії.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно та характеризуються науковою новизною.

До результатів, що мають наукову новизну, належать:

- вперше розроблено метод інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів у ковзних часових вікнах шляхом поєднання каналів моторного наміру користувача та сенсорного зворотного зв'язку, що дало змогу підвищити інформативність біосигналів, зменшити вплив завад та забезпечити підвищення точності і стабільності керування біонічним протезом кисті;
- вперше запропоновано підхід до формування керуючих впливів у системі біокерування протезом кисті на основі інтеграції електроміографічних сигналів та п'єзосигналів сенсорного зворотного зв'язку, що дало змогу забезпечити плавність керування рухами протеза та підвищити ефективність взаємодії користувача з біонічною системою;
- удосконалено алгоритм формування керуючої напруги шляхом урахування динамічних характеристик біосигналів та результатів їх інтегрованої обробки, що дало змогу зменшити нестабільність керування та підвищити швидкодію системи у режимі реального часу;
- набули подальшого розвитку математичні моделі електроміографічних сигналів та п'єзосигналів як інформаційних каналів системи біокерування шляхом урахування їх часових, спектральних та динамічних характеристик, що дало змогу підвищити ефективність аналізу біосигналів та точність формування керуючих впливів у системі керування біонічним протезом кисті.

3. Практична цінність одержаних результатів

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробленні методів та засобів відбору й обробки біосигналів для систем керування біонічними протезами верхніх кінцівок.

Автором розроблено засоби відбору електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, які забезпечують реєстрацію біосигналів користувача та формування інформаційних каналів системи біокерування біонічним протезом кисті. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити якість реєстрації сигналів, зменшити вплив завад та забезпечити стабільність функціонування системи в режимі реального часу.

Розроблений метод інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів забезпечує підвищення інформативності сигналів, зменшення впливу шумів та артефактів і дозволяє реалізовувати формування керуючих впливів у режимі реального часу.

Автором створено експериментальний прототип біонічного протеза кисті із інтегрованою системою сенсорного зворотного зв'язку та засобами реєстрації біосигналів. Запропоновані алгоритми та програмне забезпечення можуть бути використані при створенні перспективних систем біокерування біонічними протезами, роботизованими маніпуляторами та іншими біотехнічними системами.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

- під час виконання науково-дослідної роботи «Біонічний протез кисті руки на основі ендоскелета» (№ державної реєстрації 0125U003760), що виконується у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя;

- у діяльності ТОВ «НВП «ІНФОТЕХМЕД» (м. Тернопіль) при дослідженні та розробленні засобів відбору, обробки та аналізу біосигналів у системах біокерування;

- у навчальному процесі кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при викладанні дисциплін, пов'язаних із цифровою обробкою біосигналів, біотехнічними системами та медичною електронікою.

Наявність актів впровадження підтверджує практичну значущість отриманих результатів та можливість їх використання у наукових дослідженнях, освітньому процесі, а також у прикладних задачах відбору, обробки та аналізу біосигналів у системах керування біонічними протезами.

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях

Основні наукові результати дисертаційного дослідження Ковалика С.В. достатньо повно відображені у 9 наукових публікаціях автора, з яких 4 статті опубліковано у фахових наукових виданнях України, а також 5 праць – у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових та науково-практичних конференцій.

Опубліковані праці відображають ключові положення дисертаційної роботи, зокрема результати розроблення структури системи керування біонічним протезом кисті, математичного моделювання електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, розроблення методів їх інтегрованої обробки, формування керуючих впливів, а також результати моделювання та експериментальних досліджень ефективності запропонованої системи біокерування.

Наукові результати, представлені у публікаціях автора, відображають основні етапи проведеного дослідження та відповідають змісту і структурі дисертаційної роботи. Матеріали дисертації апробовано на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, що підтверджує наукову значущість та актуальність отриманих результатів.

Кількість і рівень наукових публікацій здобувача відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а їх зміст достатньо повно відображає основні результати дисертаційного дослідження.

Використання у дисертаційній роботі результатів досліджень інших авторів здійснено з дотриманням вимог наукової етики та містить коректні посилання на відповідні джерела. Порушень принципів академічної доброчесності, зокрема фактів академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації наукових результатів, у дисертаційній роботі не встановлено.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та достовірними.

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів цифрової обробки сигналів, математичного моделювання, теорії керування, статистичного аналізу та комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB.

Теоретичні положення дисертації базуються на інтегрованому підході до аналізу електроміографічних сигналів та п'єзосигналів як інформаційних каналів системи біокерування. Запропоновані методи та алгоритми обробки біосигналів обґрунтовано з позицій сучасних підходів цифрової обробки сигналів та підтверджено результатами експериментальних досліджень.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, результатами моделювання системи керування та кількісним оцінюванням характеристик системи за показниками точності, плавності, стабільності та сенсорної реакції.

Результати дослідження узгоджуються із сучасними науковими підходами у сфері біомедицинської інженерії та систем біокерування.

Додатковим підтвердженням достовірності результатів є їх апробація на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, а також впровадження результатів дослідження у навчальний процес та науково-дослідну діяльність.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науково-теоретичному та практичному рівнях. Робота має логічну структуру, послідовний виклад матеріалу та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету та основні завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також подано інформацію щодо апробації та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану розвитку систем керування біонічними протезами верхніх кінцівок, методів реєстрації та обробки електроміографічних сигналів, а також засобів реалізації сенсорного зворотного зв'язку. Розглянуто переваги та недоліки існуючих підходів до біокерування протезами кисті людини, що дозволило сформувати основні напрямки подальших досліджень.

Другий розділ присвячено розробленню структури біонічного протеза кисті та апаратної частини системи відбору біосигналів. Наведено структурні та функціональні схеми системи біокерування, описано засоби реєстрації електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, а також принципи організації сенсорного зворотного зв'язку.

У **третьому розділі** розроблено математичні моделі електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, методи їх інтегрованої обробки та алгоритми формування

керуючих впливів у системі керування біонічним протезом кисті. Значну увагу приділено аналізу часових і спектральних характеристик сигналів, завадостійкості системи та забезпеченню роботи алгоритмів у режимі реального часу.

У **четвертому розділі** наведено результати комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень розробленої системи керування біонічним протезом кисті. Проведено оцінювання точності, плавності та стабільності керування, а також досліджено ефективність інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів.

У **висновках** наведено основні результати дисертаційного дослідження відповідно до поставлених завдань, сформульовано наукові та практичні результати роботи, а також визначено перспективи подальших досліджень у напрямі розвитку систем біокерування біонічними протезами верхніх кінцівок.

Список використаних джерел містить сучасні наукові праці вітчизняних та закордонних авторів, що свідчить про ґрунтовне опрацювання автором науково-технічної літератури за тематикою дослідження.

У **додатках** наведено допоміжні матеріали, результати моделювання, фрагменти програмного забезпечення, акти впровадження та інші матеріали, що підтверджують практичну цінність і достовірність отриманих результатів.

Структура дисертаційної роботи є логічною, а зміст розділів відповідає поставленим меті та завданням дослідження.

7. Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, має логічну структуру та відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Тематика, зміст та отримані результати дослідження відповідають спеціальності 163 «Біомедична інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

8. Зауваження до дисертації

Поряд із загальним високим науковим рівнем виконаної дисертаційної роботи, її теоретичною обґрунтованістю та практичною спрямованістю, у роботі можна відзначити окремі положення дискусійного характеру та рекомендаційні зауваження:

1. Проведений у роботі аналіз сучасних систем керування біонічними протезами кисті людини та методів обробки електроміографічних сигналів доцільно було б доповнити більш детальним порівнянням ефективності існуючих підходів з точки зору їх використання у системах реального часу. Такий аналіз дав би змогу більш повно обґрунтувати переваги запропонованого автором підходу до інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів.

2. Представлені технічні рішення щодо побудови біонічного протеза кисті та системи відбору біосигналів є достатньо обґрунтованими та практично орієнтованими. Водночас більш детальний аналіз вибору окремих елементів апаратного забезпечення, зокрема характеристик сенсорів, параметрів каналів реєстрації сигналів та їх впливу на формування керуючих впливів, дозволив би повніше оцінити ефективність функціонування системи біокерування в режимі реального часу.

3. Наведені результати моделювання та експериментальних досліджень підтверджують працездатність запропонованої системи керування біонічним

протезом кисті. Разом з тим, доцільно було б більш детально дослідити поведінку системи за різних режимів навантаження та варіацій характеристик біосигналів, що дозволило б повніше оцінити стабільність і надійність функціонування запропонованих методів та алгоритмів у реальних умовах експлуатації.

4. У роботі значну увагу приділено інтегрованим обробці електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, однак питання впливу індивідуальних фізіологічних особливостей користувача на характеристики біосигналів та якість керування біонічним протезом розглянуто недостатньо детально. Проведення додаткових досліджень у цьому напрямі дозволило б більш повно оцінити адаптивність запропонованої системи керування до різних груп користувачів.

Зазначені зауваження не знижують загальної наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, а мають переважно рекомендаційний характер.

9. Загальний висновок

1. Дисертаційна робота Ковалика Сергія Васильовича на тему «Методи та засоби відбору й обробки біосигналів для задачі керування біонічним протезом кисті людини» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-практичне завдання розроблення методів та засобів відбору, обробки й інтеграції електроміографічних сигналів та п'єзосигналів для підвищення ефективності системи керування біонічним протезом кисті людини.

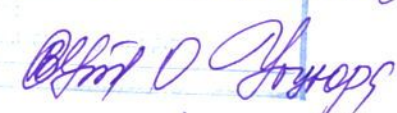
2. За тематикою, змістом та науковими результатами дисертаційна робота відповідає спеціальності 163 «Біомедична інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

3. Вважаю, що дисертаційна робота «Методи та засоби відбору й обробки біосигналів для задачі керування біонічним протезом кисті людини» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (із змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Ковалик Сергій Васильович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія», галузь знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри радіотехнічних систем
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя




 Лілія ХВОСТИВСЬКА