

Голові разової спеціалізованої вченої ради PhD 15020
Тернопільського національного технічного університету
імені Івана Пулюя
доктору технічних наук, професору
ЛИТВИНЕНКУ Ярославу Володимировичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Сверстюка Андрія Степановича

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
за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»
галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Стрімкий розвиток біомедичної інженерії, робототехніки, інтелектуальних систем керування та сучасних інформаційних технологій зумовив появу нового покоління високофункціональних біонічних протезів верхніх кінцівок. Особливого значення ця проблема набуває в сучасних умовах України, коли внаслідок бойових дій суттєво збільшилась кількість осіб, які потребують якісного функціонального протезування. При цьому одним із визначальних чинників ефективності використання біонічного протеза є можливість забезпечення природного, точного та стабільного керування його рухами на основі біологічних сигналів користувача.

Сучасні системи біокерування переважно використовують сигнали поверхневої електроміографії як основне джерело інформації про наміри користувача. Разом із тим електроміографічні сигнали характеризуються значною нестаціонарністю, стохастичною природою, високою чутливістю до шумів, артефактів та індивідуальних фізіологічних особливостей людини. Унаслідок цього виникають труднощі під час формування стабільних керуючих впливів, особливо в системах реального часу.

Не менш важливою проблемою сучасного протезування є практична відсутність ефективного сенсорного зворотного зв'язку. Більшість існуючих біонічних протезів забезпечують лише передачу керуючих команд від користувача до виконавчого механізму, тоді як інформація про силу захвату, контакт із предметом або характер взаємодії із зовнішнім середовищем не повертається користувачеві або реалізується лише частково. Це негативно впливає на точність маніпуляцій, збільшує когнітивне навантаження на користувача та знижує функціональність протеза.

У світовій практиці останніх років активно досліджуються питання інтеграції різномірних біосигналів, використання багатоканальних систем реєстрації електроміографії, застосування адаптивних алгоритмів цифрової обробки сигналів, математичного моделювання процесів керування та впровадження контурів

сенсорного зворотного зв'язку. Однак більшість відомих підходів або орієнтована на високопродуктивні обчислювальні платформи, або потребує використання складних алгоритмів машинного навчання, що обмежує їх практичне застосування у портативних біонічних протезах.

У зв'язку з цим особливо актуальними є дослідження, спрямовані на створення нових методів відбору та інтегрованої обробки електроміографічних і п'єзоелектричних сигналів, побудову математичних моделей систем біокерування, розроблення алгоритмів формування керуючих впливів у режимі реального часу та реалізацію ефективного сенсорного зворотного зв'язку.

Саме вирішенню зазначених науково-прикладних проблем присвячена дисертаційна робота Ковалика Сергія Васильовича. Запропонований автором комплекс методів, математичних моделей, алгоритмів і технічних засобів забезпечує підвищення точності, плавності, стабільності та завадостійкості керування біонічним протезом кисті шляхом інтегрованої обробки електроміографічних і п'єзосигналів, що свідчить про безперечну актуальність проведеного дослідження як у науковому, так і у практичному аспектах.

Таким чином, тема дисертаційної роботи відповідає сучасним напрямкам розвитку біомедичної інженерії, цифрової обробки біосигналів, математичного моделювання біотехнічних систем та систем біокерування, а результати дослідження мають вагомe значення для розвитку сучасних технологій протезування верхніх кінцівок.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота Ковалика Сергія Васильовича виконана на кафедрі біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Тематика дослідження відповідає науковому напрямку кафедри та пов'язана з діяльністю наукової школи «Математичне моделювання та обробка техногенних та природних складних сигналів», у межах якої проводяться фундаментальні та прикладні дослідження з математичного моделювання біологічних процесів, цифрової обробки сигналів, створення біотехнічних систем та інтелектуальних засобів медичного призначення.

Роботу виконано в межах науково-дослідної роботи «Біонічний протез кисті руки на основі ендоскелета» (номер державної реєстрації 0125U003760), результати якої спрямовані на створення сучасних біонічних протезів верхніх кінцівок із підвищеними функціональними можливостями.

Отримані дисертантом результати органічно інтегруються в зазначену тематику та є важливою складовою комплексних досліджень щодо створення вискоефективних систем біокерування, математичного моделювання процесів функціонування біонічних протезів, удосконалення методів реєстрації та цифрової обробки біосигналів, а також реалізації адаптивного сенсорного зворотного зв'язку.

Викладене свідчить про достатній рівень відповідності дисертаційної роботи сучасним науковим напрямкам розвитку біомедичної інженерії та підтверджує її тісний зв'язок із виконанням державних науково-дослідних програм.

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Сукупність отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечує комплексне розв'язання актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності керування біонічним протезом кисті людини шляхом розроблення нових методів і засобів відбору, інтегрованої обробки біосигналів та формування керуючих впливів у режимі реального часу. Наукові результати логічно пов'язані між собою, характеризуються завершеністю та мають достатній рівень новизни.

У дисертаційній роботі здобувачем отримано такі нові наукові результати:

1. Уперше розроблено метод інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів у ковзних часових вікнах, який ґрунтується на сегментації сигналів, формуванні їх огинаючих, визначенні узагальнених параметрів та подальшій інтеграції інформації від різних сенсорних каналів. Запропонований метод забезпечує підвищення інформативності біосигналів, зменшення впливу шумів і артефактів та придатність алгоритмів до функціонування в режимі реального часу.

2. Уперше запропоновано підхід до формування керуючих впливів у системі керування біонічним протезом кисті, який поєднує використання електроміографічних сигналів для визначення наміру користувача із застосуванням п'єзосигналів як інформаційного каналу сенсорного зворотного зв'язку. На відміну від існуючих рішень, запропонований підхід забезпечує підвищення точності, стабільності та надійності функціонування системи керування.

3. Удосконалено алгоритм формування керуючої напруги виконавчого механізму біонічного протеза, який враховує результати інтегрованої обробки біосигналів, динамічні характеристики електромеханічної системи та обмеження зміни керуючих впливів, що дозволило підвищити плавність керування, зменшити рівень перерегулювання та покращити якість функціонування системи.

4. Набули подальшого розвитку математичні моделі електроміографічних сигналів, п'єзосигналів та інтегрованої системи біокерування біонічним протезом, які, на відміну від відомих моделей, комплексно враховують статистичні, спектральні та часові характеристики біосигналів, особливості їх взаємодії та вплив сенсорного зворотного зв'язку на процес формування керуючих впливів.

Наукові результати дисертаційної роботи характеризуються внутрішньою логічною завершеністю, достатнім рівнем обґрунтованості та відповідають сучасному рівню розвитку біомедичної інженерії, цифрової обробки сигналів і систем автоматичного керування.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальна структура роботи є логічною, а виклад матеріалу – послідовним та аргументованим. Основні результати дослідження отримано шляхом комплексного застосування методів математичного моделювання, цифрової обробки сигналів, комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, наведено відомості щодо апробації результатів і публікацій здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану проблеми створення систем керування біонічними протезами кисті людини. Автором виконано ґрунтовний аналіз біомеханічних особливостей кисті людини, сучасних конструкцій біонічних протезів, існуючих систем міоелектричного керування, методів обробки електроміографічних сигналів та способів реалізації сенсорного зворотного зв'язку. Значну увагу приділено аналізу переваг і недоліків сучасних алгоритмів цифрової обробки біосигналів, методів машинного навчання та систем керування реального часу. На підставі проведеного аналізу сформульовано основні вимоги до побудови перспективної системи керування біонічним протезом кисті та обґрунтовано напрями подальших досліджень.

У другому розділі розроблено структурну організацію інтегрованої системи керування біонічним протезом кисті. Автором запропоновано конструкцію та реалізовано удосконалений експериментальний прототип біонічного протеза із використанням технологій 3D-друку, електронних засобів реєстрації електроміографічних і п'єзоелектричних сигналів, а також спеціалізованого електронного тракту їх підсилення та фільтрації. Значну увагу приділено побудові апаратної частини системи, інтеграції сенсорів та організації інформаційної взаємодії між її функціональними вузлами, що створило основу для подальшої розробки методів і алгоритмів керування.

Третій розділ присвячено розробленню методів інтегрованої обробки біосигналів та алгоритмів функціонування системи керування біонічним протезом кисті. Автором запропоновано метод обробки електроміографічних і п'єзосигналів у ковзних часових вікнах, який забезпечує підвищення інформативності сигналів, пригнічення шумів і артефактів та формування стійких інформаційних ознак. Розроблено алгоритм формування керуючих впливів у режимі реального часу, який враховує результати інтегрованої обробки біосигналів, динамічні властивості виконавчого механізму та інформацію від сенсорного зворотного зв'язку. Значну практичну цінність становить розроблена математична модель електромеханічної частини біонічного протеза, що дозволила дослідити особливості функціонування системи керування ще на етапі комп'ютерного моделювання.

Четвертий розділ присвячено експериментальній перевірці запропонованих методів та алгоритмів у середовищі MATLAB. Проведено комплексне оцінювання ефективності функціонування розробленої системи за показниками точності формування сили захвату, плавності керування, стабільності режиму утримання та характеристик сенсорного зворотного зв'язку. Автором запропоновано систему інтегральних і локальних показників оцінювання якості функціонування системи, що дозволило кількісно підтвердити ефективність запропонованих рішень. Отримані результати моделювання та експериментальних досліджень підтверджують

підвищення точності, плавності та стійкості функціонування системи керування біонічним протезом кисті.

У висновках наведено основні результати дисертаційної роботи, які повністю відповідають поставленим меті та завданням дослідження. Отримані результати мають логічне завершення та узгоджуються зі змістом кожного розділу дисертації.

Список використаних джерел налічує 179 найменувань і охоплює фундаментальні та сучасні публікації з біомедичної інженерії, біонічного протезування, цифрової обробки електроміографічних сигналів, математичного моделювання, теорії керування, сенсорних систем та штучного інтелекту. Значну частину бібліографії становлять праці провідних зарубіжних учених останніх років, що свідчить про належний рівень опрацювання сучасного стану наукових досліджень та відповідність дисертації світовим тенденціям розвитку систем біокерування біонічними протезами.

У додатках наведено матеріали, що деталізують результати математичного моделювання та експериментальних досліджень, документи щодо практичного впровадження отриманих результатів, відомості про апробацію, а також допоміжні матеріали, які забезпечують повніше сприйняття основного змісту роботи. Подані додатки органічно пов'язані з матеріалом дисертації, не дублюють основний текст і підтверджують завершеність виконаного дослідження.

Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи свідчить, що всі поставлені у вступі завдання здобувачем вирішено у повному обсязі, а отримані результати є взаємопов'язаними, достатньо обґрунтованими та мають як наукове, так і практичне значення.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі Ковалика Сергія Васильовича, є достатньо обґрунтованими, логічно взаємопов'язаними та підтверджуються комплексом теоретичних і експериментальних досліджень.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасного математичного апарату цифрової обробки сигналів, методів математичного моделювання, теорії автоматичного керування, методів статистичного аналізу, чисельного моделювання та експериментальної перевірки результатів. Під час виконання дослідження здобувачем використано сучасні програмні засоби моделювання, зокрема середовище MATLAB, що дало можливість провести комплексний аналіз характеристик запропонованої системи керування та оцінити її функціонування в умовах, наближених до реальних.

Обґрунтованість наукових положень підтверджується логічною послідовністю дослідження. Автором проведено системний аналіз сучасного стану проблеми, визначено основні недоліки існуючих методів керування біонічними протезами, сформульовано вимоги до розроблюваної системи, побудовано математичні моделі інформаційних каналів, розроблено нові методи інтегрованої обробки біосигналів,

алгоритми формування керуючих впливів та виконано їх експериментальну перевірку.

Важливою перевагою роботи є те, що всі запропоновані математичні моделі мають практичне продовження у вигляді розроблених алгоритмів і програмної реалізації. Це свідчить про завершеність проведеного дослідження та практичну орієнтованість отриманих результатів.

Достовірність експериментальних результатів підтверджується використанням кількісних критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи керування. Автором запропоновано інтегральні та локальні показники оцінювання точності формування сили захвату, плавності керування, стабільності режиму утримання та характеристик сенсорного зворотного зв'язку, що дозволило об'єктивно порівняти результати функціонування системи та оцінити ефективність запропонованих технічних рішень.

Слід позитивно відзначити, що дисертант не обмежився лише якісним аналізом отриманих результатів, а здійснив їх кількісне оцінювання за допомогою інтегральних критеріїв, що суттєво підвищує наукову цінність проведеного дослідження.

Отримані результати не суперечать сучасним теоретичним положенням біомедичної інженерії, цифрової обробки сигналів, математичного моделювання та теорії автоматичного керування, а також узгоджуються з результатами досліджень провідних зарубіжних і вітчизняних учених у галузі біонічного протезування.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, достовірними та повною мірою підтверджують досягнення поставленої мети дослідження.

6. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у тому, що розроблені автором методи, математичні моделі, алгоритми цифрової обробки біосигналів та програмно-алгоритмічне забезпечення можуть бути безпосередньо використані під час створення сучасних систем керування біонічними протезами верхніх кінцівок.

Важливим практичним результатом є створення експериментального прототипу біонічного протеза кисті із застосуванням адитивних технологій, розроблення електронних засобів реєстрації та первинної обробки біосигналів, інтеграція електроміографічних і п'єзоелектричних сенсорів, а також реалізація програмного забезпечення для роботи системи у режимі реального часу. Це підтверджує завершеність виконаного дослідження та готовність запропонованих технічних рішень до подальшого практичного використання й удосконалення.

На відміну від досліджень, що мають переважно теоретичний характер, результати дисертації доведені до рівня практичної реалізації. Автором розроблено структурну організацію інтегрованої системи керування біонічним протезом кисті, створено інтегровану математичну модель системи біокерування, реалізовано алгоритми цифрової обробки електроміографічних та п'єзоелектричних сигналів, а також виконано їх програмну реалізацію у середовищі MATLAB із подальшою експериментальною перевіркою ефективності.

Практичне значення мають запропоновані методи інтегрованої обробки біосигналів, які забезпечують можливість функціонування системи у режимі реального часу без істотного збільшення обчислювальних витрат. Це створює передумови для подальшої реалізації розроблених алгоритмів на сучасних вбудованих мікроконтролерах, цифрових сигнальних процесорах та інших апаратних платформах, що використовуються у системах біонічного протезування.

Суттєве практичне значення має також розроблена інтегрована математична модель системи біокерування, яка може бути використана як основа для подальшого проєктування нових поколінь біонічних протезів, оптимізації їх параметрів та проведення комп'ютерних досліджень ще до виготовлення дослідних зразків.

Практичний інтерес становить також запропонований комплекс інтегральних показників оцінювання ефективності функціонування систем керування біонічними протезами. Його використання дозволяє об'єктивно оцінювати якість роботи алгоритмів, порівнювати різні методи цифрової обробки сигналів та визначати оптимальні режими функціонування системи.

Практична цінність отриманих результатів підтверджується їх використанням під час виконання науково-дослідної роботи «Біонічний протез кисті руки на основі ендоскелета», а також впровадженням у діяльність ТОВ «НВП «ІНФОТЕХМЕД» і в освітній процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Одержані результати можуть бути використані у науково-дослідних установах, конструкторських організаціях, підприємствах, що займаються створенням засобів медичної реабілітації, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти під час викладання дисциплін, пов'язаних із біомедичною інженерією, біотехнічними системами, цифровою обробкою сигналів, математичним моделюванням та комп'ютерними технологіями.

Безперечною перевагою дисертаційної роботи є поєднання теоретичних досліджень із практичною реалізацією запропонованих рішень. Саме це свідчить про прикладну спрямованість виконаного дослідження, високий рівень його завершеності та перспективність використання отриманих результатів у сучасних системах біонічного протезування.

Таким чином, результати дисертаційної роботи мають вагоме практичне значення, характеризуються достатнім рівнем готовності до практичного впровадження та можуть бути використані як під час подальших наукових досліджень, так і у процесі створення сучасних інтелектуальних систем керування біонічними протезами.

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Структура дисертаційної роботи включає вступну частину, чотири основні розділи, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 223 сторінки, з яких основний зміст викладено на 160 сторінках, додатки – на 32 сторінках (4 додатки). Робота містить 62 рисунки, 79 формул і 11

таблиць. Бібліографічний список налічує 113 найменувань. Дисертацію оформлено відповідно до «Вимог до оформлення дисертацій», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

Структура дисертаційної роботи є логічною та послідовною. Виклад матеріалу характеризується внутрішньою цілісністю, а зміст окремих розділів узгоджується з поставленою метою, сформульованими завданнями та отриманими науковими результатами. Основні висновки й практичні рекомендації є достатньо обґрунтованими, логічно випливають із проведених теоретичних та експериментальних досліджень і відповідають поставленій меті роботи. Список використаних джерел є достатньо повним, містить сучасні вітчизняні та зарубіжні наукові праці й відповідає предметній області дослідження.

Під час аналізу дисертаційної роботи не виявлено текстових запозичень, використання наукових результатів інших авторів без належних посилань чи інших ознак порушення принципів академічної доброчесності. Використання результатів попередніх досліджень здійснено з дотриманням вимог наукової етики та супроводжується коректними бібліографічними посиланнями.

Основні результати дисертаційного дослідження достатньою мірою апробовані та висвітлені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України та 5 публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій. Ключові наукові положення, результати досліджень і висновки дисертаційної роботи повною мірою відображені в опублікованих працях автора, а їх кількісні та якісні показники відповідають вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії.

Оприлюднення наукових результатів у рецензованих наукових виданнях, що здійснюють контроль матеріалів щодо дотримання принципів академічної доброчесності, є додатковим підтвердженням належного рівня виконання дисертаційного дослідження. За результатами аналізу дисертації Ковалика В.І. фактів порушення академічної доброчесності не виявлено. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлено в опублікованих працях автора, а їх кількісні та якісні показники повністю відповідають установленим нормативним вимогам.

8. Мова та стиль дисертаційної роботи

Дисертаційна робота написана українською мовою на високому науковому рівні. Виклад матеріалу є логічним, послідовним і аргументованим, що забезпечує цілісне сприйняття результатів проведеного дослідження. Автор грамотно використовує сучасну термінологію у галузі біомедичної інженерії, цифрової обробки сигналів, математичного моделювання та систем автоматичного керування, а також коректно застосовує математичний апарат для обґрунтування запропонованих методів і моделей.

Стиль викладення відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня. Текст характеризується чіткістю формулювань, належною

аргументованістю тверджень, достатнім рівнем деталізації опису виконаних досліджень та логічною узгодженістю окремих розділів між собою. Використані графічні матеріали, таблиці, рисунки та математичні залежності органічно доповнюють текст роботи, сприяють кращому сприйняттю отриманих результатів і не перевантажують виклад.

Окремі стилістичні, редакційні чи технічні неточності, що трапляються у тексті дисертації, мають поодинокий характер, не впливають на загальний зміст роботи, не знижують наукової цінності отриманих результатів і можуть бути усунуті під час підготовки дисертації до друку.

Загалом мова та стиль викладення дисертаційної роботи відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а рівень оформлення та культури наукового викладу свідчить про належну наукову кваліфікацію здобувача.

9. Зауваження до дисертації:

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, слід відзначити окремі зауваження та побажання, які мають переважно дискусійний характер і не знижують її наукової та практичної цінності:

1. Під час побудови математичних моделей біосигналів основну увагу приділено часовим характеристикам сигналів. Водночас недостатньо висвітлено вплив індивідуальних фізіологічних особливостей користувачів на параметри моделей та ефективність функціонування системи керування.

2. Експериментальна частина роботи достатньою мірою підтверджує працездатність запропонованих методів і алгоритмів. Разом із тим доцільно було б навести більш розгорнутий порівняльний аналіз отриманих результатів із характеристиками відомих комерційних систем керування біонічними протезами та сучасними аналогічними науковими розробками.

3. Запропонований метод інтегрованої обробки біосигналів характеризується високою ефективністю та підтверджений результатами математичного моделювання й експериментальних досліджень. Разом із тим потребує більш детального висвітлення питання обчислювальної складності запропонованих алгоритмів, їх швидкодії та використання апаратних ресурсів під час реалізації на сучасних вбудованих мікроконтролерах і цифрових сигнальних процесорах.

4. Запропонована система оцінювання ефективності функціонування системи керування базується на комплексі інтегральних показників. Разом із тим доцільно було б більш детально дослідити вплив зміни параметрів алгоритмів на швидкість адаптації системи до індивідуальних особливостей користувачів та стабільність її функціонування за різних умов реєстрації біосигналів.

5. У дисертаційній роботі недостатньо уваги приділено аналізу довготривалої стабільності електроміографічних сигналів, впливу втоми м'язів та інших фізіологічних чинників на ефективність функціонування системи керування біонічним протезом у процесі тривалої експлуатації.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не впливають на достовірність отриманих результатів, не знижують наукової цінності дисертації та не змінюють її загальної позитивної оцінки.

10. Загальний висновок

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 отримано нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності забезпечують розв'язання актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності функціонування систем керування біонічними протезами кисті людини шляхом розроблення методів інтегрованої обробки біосигналів, математичних моделей, алгоритмів формування керуючих впливів та засобів реалізації сенсорного зворотного зв'язку.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації є достатньо обґрунтованими, достовірними та мають наукову новизну. Практичне значення отриманих результатів підтверджується можливістю їх використання під час розроблення сучасних біонічних протезів верхніх кінцівок, біотехнічних систем, засобів медичної реабілітації та у навчальному процесі закладів вищої освіти.

За рівнем актуальності, наукової новизни, теоретичної обґрунтованості, практичного значення та повнотою апробації отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року (зі змінами), а її автор Ковалик Сергій Васильович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор закладу вищої освіти кафедри медичної інформатики
Тернопільського національного медичного університету
імені І.Я. Горбачевського



Андрій СВЕРСТЮК

Підпис доктора технічних наук, професора,
професора закладу вищої освіти кафедри медичної інформатики
Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського
з а в і р я ю:

Секретар Вченої ради
доктор медичних наук, професор



Ілля ГЕРАСИМЮК