

Голові разової спеціалізованої вченої
ради ДФ 58.052.009

Тернопільського національного
технічного університету ім. І. Пулюя
доктору технічних наук, професору
Лупенку Сергію Анатолійовичу

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, доцента, завідувача кафедри комп'ютерних наук
Західноукраїнського національного університету

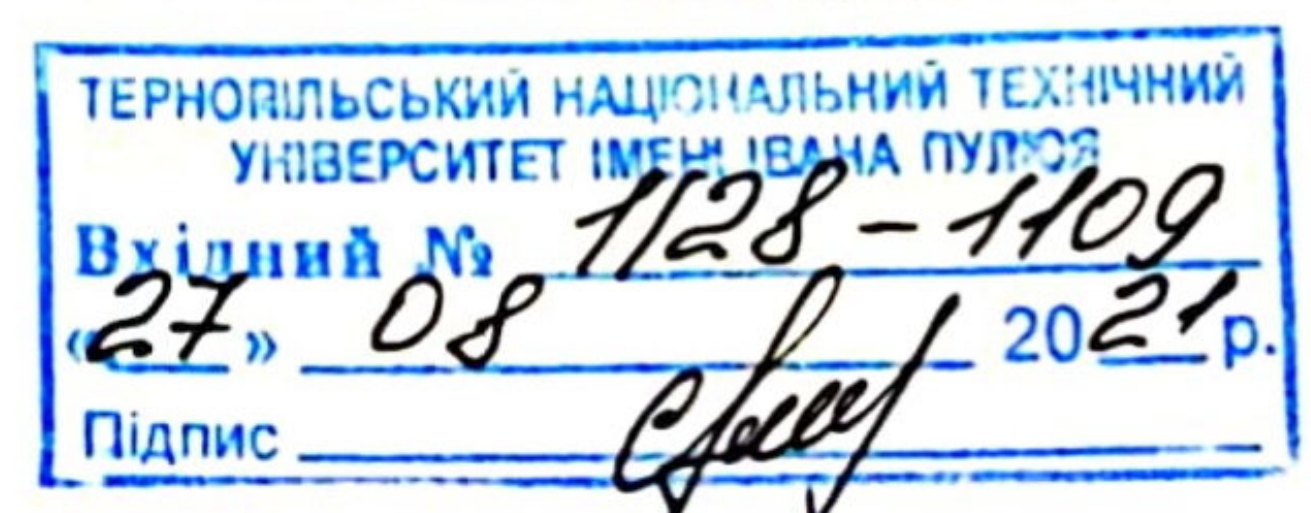
Пукаса Андрія Васильовича

на дисертаційну роботу Мудрика Івана Ярославовича
на тему «Автоматизовані системи діагностування стану пацієнтів, хворих на
есенціальний тремор»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими планами і програмами

1.1 *Актуальність теми дисертаційної роботи.* Сучасний розвиток науки та техніки дає змогу автоматизувати та прискорити процес діагностування захворювань різного патогенезу. Використання нових методів моделювання, комп'ютеризованої обробки та аналізу даних забезпечує комплексний підхід до виконання систем цифрової діагностики стану людського здоров'я. У медичній та біотехнічній галузях вже тривалий час займаються методикою визначення, оцінки та аналізу захворювання есенціального тремору. Аналіз форм та причин тремтіння має велике значення в неврологічній практиці та при діагностиці синдрому Паркінсона, де видимий ризик тремору є показником патологічного стану центральної нервової системи.



Створення ефективних якісних автоматизованих систем діагностування захворювань та програмно-апаратних рішень для них вимагає застосування апарату математичного моделювання для обробки сигналів, а також математичних моделей складних гібридних задач ідентифікації впливів на ці сигнали.

Вдосконалення існуючих та розробка нових підходів побудови архітектури та реалізації спеціалізованого програмного забезпечення з метою автоматизації процесів для медичного застосування з використанням новітніх способів отримання даних, заснованих на дослідженні специфіки феноменів тремору, є актуальною науково-технічною задачею, яка вирішується в даному дослідженні.

Метод комп'ютеризованого аналізу є точним та ефективним в оцінці ступеню тремору, а математичне моделювання дозволяє отримати якісні та кількісні характеристики коливних сигналів, амплітуду коливання, відхилення від норми та інші показники, характерні при діагностуванні з використанням рисунку спіралі.

Автоматизація діагностування захворювання в ході виконання тесту спіралі передбачає аналіз вхідних оцифрованих даних. Описано якісний та ефективний підхід до збору даних про рухи пацієнта з використанням новітнього обладнання (графічного перового планшета з вбудованим 3D-мікроакселерометром). Це забезпечило можливість отримати якісне аналітичне та чисельне представлення поведінки рухів рук пацієнтів.

У медичній практиці для діагностики захворювань ставлять високі вимоги до якості та надійності результатів, які є ключовими для визначення причин виникнення й опису нейрофізіологічних характеристик та дозволяють підвищити ефективність лікування в подальшому. Важливим є врахування вимог ергономіки застосування реалізованих рішень. Розроблювані методи та засоби ідентифікації значно полегшують роботу медичних працівників з пацієнтами та дають можливість оцінювати ступінь захворювання з однозначної та об'єктивної сторони.

1.2 *Зв'язок з науковими планами і програмами.* Дослідження виконувалось у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в межах науково-дослідної роботи на тему «Високопродуктивні

суперкомп'ютерні технології ідентифікації нейро-біо- та нанопористих систем з когнітивними і зворотніми зв'язками» (№ держреєстрації 0119U001324, 2019-2021), у якому здобувач був виконавцем одного з етапів: «Моделі багатопараметричної ідентифікації feedback-систем».

Також здобувач брав участь в науково-освітній програмі академічної мобільності між Україною і Францією, стажувався у французькому університеті (Університет П'єра і Марії Кюрі (Париж 6), Вища школа індустріальних фізики та хімії Парижу ESPSI Paris) та лабораторії Інституту головного та спинного мозків Парижу ICM. Згідно цієї програми здобувачем було виконано проєкт наукових досліджень за темою дисертаційної роботи, що засвідчено сертифікатами та довідками про результати наукових стажувань здобувача.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і шість додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідними темами, встановлено мету та визначені завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача в дослідження моделей та технологій. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження та їх практичне значення.

У *першому* розділі проаналізовано сучасні клінічні методи та способи діагностування станів пацієнтів з проявами тремору кінцівок. Охарактеризовано сучасний підхід науки до способів визначення параметрів тремтіння кінцівок в різних клінічних проявах. Розглянуто основні параметри системи, досліджено експериментальні дані та суміжні розробки, проаналізовано існуючі ефективні методи ідентифікації захворювання тремор, переваги та недоліки кожного з них. Проведено аналіз предметної області, виявлено характеристики та методи

отримання і опрацювання даних. Наведено постановку задачі дисертаційного дослідження.

У *другому* розділі описано моделі сигналів, отриманих в якості вхідних даних для опрацювання (рисунок спіралі Архімеда різних пацієнтів), проаналізовано точність та ефективність методів комп'ютеризованого аналізу ступеню тремору. Здійснено математичне представлення основних результатів моделювання, отримано частотні та амплітудні характеристики коливного процесу, відхилення від норми та інші показники.

У *третьому* розділі здійснено обґрунтування вибору апаратної частини та технічних рішень комплексу для взаємодії пацієнта з системою. Описано користувацькі інтерфейси та можливості системи відповідно до поставлених функціональних вимог. Проілюстровано склад програмно-апаратного комплексу системи діагностування ступеню тремору. Спроектують архітектурні рішення та реалізацію специфічних алгоритмів, описано спроектовані та реалізовані програмні бібліотеки, що містять набір методів та алгоритмів для дослідження характеристик тремору.

У *четвертому* розділі представлено специфіку застосування та впровадження реалізованої автоматизованої системи діагностування тремору з використанням графічного планшета. Наведено опис особливостей обчислення параметрів тремору з використанням розробленої автоматизованої системи. Обґрунтовано доцільність та показано ефективність застосування розроблених програмно-апаратних рішень в реальних умовах.

Висновки до розділів впливають зі змісту роботи, є логічними та містять перелік основних результатів одержаних у дисертаційному дослідженні.

У *заключних висновках* до роботи висвітлено отримані результати дослідження та розробки, які за своїм змістом відповідають поставленим задачам та підтверджують досягнення мети роботи.

В *додатках* містяться: перелік публікацій здобувача; акти та довідки про впровадження результатів дисертаційного дослідження; зразки виконання

діагностичного тесту пацієнтами з використанням розробленого в рамках дослідження програмного забезпечення, також результати аналізу рисунків пацієнтів при виконанні діагностичного тесту; пояснення гібридної математичної моделі для аналізу АНР Т-об'єкта на основі feedback-зв'язків і впливів нейронних вузлів КГР, яке застосовується в дослідженні та розробці; код реалізації прикладних алгоритмів, які використовуються в програмному забезпеченні та розроблені здобувачем; текстовий файл зі зразком зібраних даних з запису пацієнта в ході виконання тесту спіралі на розроблюваній діагностичній системі.

Обґрунтованість представлених у дисертаційному дослідженні наукових положень, висновків і рекомендацій базується на теорії систем, теорії ідентифікації, теорії математичного моделювання, теорії ймовірності та математичної статистики, оптимізаційних та чисельних методах. Автором коректно використано експериментальне підтвердження сформульованих положень. Обґрунтованість висновків та рекомендацій дисертаційного дослідження засвідчує коректне використання математичного апарату, методів об'єктно-орієнтованого аналізу, проектування та програмування, функціонального та комплексного тестування систем, а також адекватність побудованих моделей та їх практичне впровадження.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження ґрунтується на використанні апробованих методів математичного моделювання, методу збору даних, методах статистичної обробки інформації та аналізу для перевірки адекватності моделей, алгоритмізації та програмування.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертантом одержано такі основні наукові результати:

1) Вперше розроблено та програмно реалізовано методику оцінювання стану пацієнтів на предмет наявності есенціального тремору на основі використання гібридних математичних моделей багатокomпонентної нейро-біо-feedback-системи, яка описує стан і поведінку 3D-елементів траєкторій АНР Т-об'єкта з врахуванням матриці когнітивних впливів груп нейро-вузлів КГМ, що

дозволило покращити якість, зручність збору та оцінки даних, підвищити точність діагностування стану пацієнтів медичних закладів.

2) Вперше розроблено гібридну математичну модель задачі ідентифікації когнітивних зворотних впливів EEG-сигналів на АНР-траєкторії на основі feedback-зв'язків і впливів нейро-вузлів кори головного мозку, що дало змогу знизити обсяги обчислень у порівнянні з витратними чисельними методами.

3) Вперше застосовано високопродуктивний регуляризаційний спосіб ідентифікації параметрів систем та зворотних feedback-впливів, які ґрунтуються на виразах градієнтів функціоналів-нев'язки і допускають покомпонентне оцінювання взаємовпливів з урахуванням багатоядерної і багатопотокової архітектури обчислювальних систем, що дозволило використання ефективних алгоритмів з елементами декомпозиції та розпаралелювання обчислень.

4) Розроблено багаторівневу архітектуру ПЗ з використанням архітектурно-центрованого раціонального уніфікованого підходу, яка забезпечує стійкість для інтеграції нових вимог та потреб користувачів, що підвищило ефективність застосування методики автоматизованого діагностування есенціального тремору.

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

Дисертаційну роботу викладено на 199 сторінках друкованого тексту, в якій наведено 48 рисунків та 2 таблиці, список використаних джерел складає 125 найменувань. Робота написана українською мовою граматично правильно, з хорошим стилістичним рівнем. Термінологія, яка застосовується в дисертаційній роботі, є загально визнаною та прийнятною для вживання. Стил викладення задач, наукових напрацювань, результатів, висновків доступний для сприйняття та розуміння. Оформлення дисертаційної роботи відповідає необхідним атестаційним вимогам.

Дотримання вимог академічної доброчесності. Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату. Отриманий результат перевірки свідчить про високу індивідуальність роботи. У дисертації не виявлено

текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковано у 17 наукових працях: трьох статтях у наукових фахових періодичних виданнях (одна стаття у закордонному фаховому періодичному виданні входить до міжнародних наукометричних баз Web of Science та Scopus); у 5-ти матеріалах міжнародних конференцій (Web of Science та Scopus); 1 патенті України на корисну модель; 1 монографії спільного виконання (дисертант виконував роботу над першим розділом), здійснено апробацію на наукових конференціях з опублікуванням 7-ми тез наукових конференцій. Ці результати наукової апробації відповідають вимогам Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Розроблена автоматизована система, методи та засоби ідентифікації есенціального тремору значно полегшують роботу медичних працівників з пацієнтами, дають можливість оцінювати ступінь захворювання з однозначної та об'єктивної сторони та може бути використана для медичних закладів та лабораторій, які займаються проблемами невралгічного характеру: тремтінням кінцівок, есенціальним тремором, хворобою Паркінсона та іншими. Автоматизована система надає розширені можливості для аналізу отриманих даних не тільки в межах даного захворювання, а й стану здоров'я пацієнта загалом. Реалізовані та представлені у дисертаційному дослідженні результати роботи можуть бути використані в освітньому процесі як для медичних, так і технічних спеціальностей.

6. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

Загалом дане дисертаційне дослідження виконано на високому науковому та прикладному рівнях. Однак, існує декілька дискусійних положень. Також, варто внести певні уточнення, зауваження та рекомендації для подальшого вдосконалення досліджуваної тематики:

1. У другому розділі в пункті 2.3 при проведенні статистичного аналізу результатів оцінювання спіралей не розкрито застосування методики АВМЛ машинного навчання.

2. У формулах (2.10) та (2.11) переведення амплітудної та частотної характеристик коливного сигналу в результуючі оцінки згідно заданої шкали, наведено сталі коефіцієнти значень без їх обґрунтування.

3. У третьому розділі роботи для покращення сприйняття доцільно було б графічно відобразити розроблену архітектуру системи діагностування стану пацієнтів, хворих на есенціальний тремор.

4. Для автоматизованих систем медичного призначення важливими є характеристики відмовостійкості та надійності, які у роботі не досліджені та не оцінені.

5. У 2 пункті наукової новизни констатовано зниження обсягів обчислень у порівнянні з витратними чисельними методами на "декілька порядків", проте у роботі не наведено це порівняння.

6. У четвертому розділі роботи рисунки 4.11, 4.15-4.20, які відображають результати моделювання та ідентифікації параметрів складних багатокомпонентних нейро-біо-feedback-систем на багатоядерних комп'ютерах, потребують уточнення розмірності осей координат та прив'язки до одиниць вимірювання.

7. Висновки

7.1. Дисертаційна робота Мудрика Івана Ярославовича на тему «Автоматизовані системи діагностування стану пацієнтів, хворих на есенціальний тремор» є самостійною завершеною науково-дослідною працею з комплексним дослідженням теоретичних та практичних проблем, присвячених автоматизації процесів діагностування стану пацієнтів з проявами тремору кінцівок. У даній роботі отримано та обґрунтовано нові наукові результати досліджень, розв'язано важливе наукове завдання проектування спеціалізованого програмного забезпечення з використанням об'єктного раціонального уніфікованого підходу до розробки, яке реалізовує математичні моделі аналізу сигналів рухів пацієнтів в діагностиці есенціального тремору.

Одержані наукові та практичні результати є вагомим внеском у розвиток ІТ-індустрії та науки в цілому. Вони можуть бути застосовані у системних медичних дослідженнях для підвищення якості профілактики, діагностики та лікування хвороби есенціального тремору. Застосування розробленого способу виявлення та оцінювання стану пацієнта з проявами хвороби з використанням спроектованого, реалізованого та апробованого спеціалізованого програмного забезпечення в комплексі становить унікальну автоматизовану систему. Зміст роботи та викладені у ній напрацювання відповідають спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

7.2. Розглянута дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної тематики, обґрунтованістю наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повнотою вирішення поставлених наукових та практичних задач, ступенем висвітлення результатів у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутністю порушень академічної доброчесності відповідає у повній мірі Порядку «Про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167, а її автор, Мудрик Іван Ярославович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент,

завідувач кафедри комп'ютерних наук

Західноукраїнського національного університету,

доктор технічних наук, доцент



Андрій ПУКАС

Підпис *Андрій Пукас*
Завіряю: *Анна Семик*
НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ