

Голові разової спеціалізованої
вченої ради
Західноукраїнського національного
університету
доктору технічних наук
Манжулі Володимирі Івановичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора, професора кафедри
кібербезпеки Західноукраїнського національного університету

Касянчука Михайла Миколайовича

на дисертаційну роботу Цапів Ярослава Андрійовича
на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної
арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження. Цифрова трансформація охорони здоров'я передбачає перехід від суб'єктивних експертних оцінок до об'єктивних вимірювань та інформаційно-аналітичної підтримки прийняття клінічних рішень. У сфері фізичної реабілітації це завдання є особливо гострим для України: внаслідок збройної агресії кількість пацієнтів із порушеннями опорно-рухового апарату, зокрема верхніх кінцівок, зросла багатократно, а ресурс кваліфікованих фізіотерапевтів є обмеженим. За таких умов програмні системи, які автоматизують контроль динаміки відновлення, прогностують результати терапії та формують рекомендації фахівцям, набувають першочергового значення.

Здобувач слушно виявив ключову проблему: наявні інструменти об'єктивної гоніометрії або мають недостатню точність (контактні методи — 5–10°), або є надто дорогими для клінік (маркерні системи захоплення руху),

а класичні методи прогнозування непридатні для коротких клінічних вибірок з 10–20 сеансів. Водночас жодна з існуючих VR/AR-платформ реабілітації не поєднує автоматичну безмаркерну гоніометрію, прогнозування динаміки відновлення та підтримку прийняття рішень фізіотерапевта у замкненому адаптивному циклі. Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною як у науковому, так і в прикладному вимірі. Дослідження виконувалось у межах трьох держбюджетних науково-дослідних робіт ЗУНУ (державні реєстраційні номери 0124U000076, 0126U002209, 0126U002213), у яких здобувач був виконавцем.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (132 найменування) та восьми додатків; структура роботи логічно підпорядкована поставленим завданням.

У першому розділі проаналізовано методи вимірювання кутів суглобів, технології VR/AR у реабілітації, методи прогнозування динаміки відновлення та системи рекомендацій у фізичній терапії; порівняльний аналіз аналогів узагальнено в табличній формі, що робить висновок про наявний функціональний розрив переконливим. У другому розділі розроблено метод безмаркерної гоніометрії на основі трьох відеопотоків (нейромережева детекція, адаптивна фільтрація, геометричне злиття із пріоритизацією за площинами руху; середня абсолютна похибка менше 4°) та інтервальні дискретні моделі динаміки відновлення, ідентифіковані алгоритмом бджолиної колонії, які прогнозують значення кутів на основі 3–4 попередніх сеансів.

У третьому розділі спроектовано мікросервісну архітектуру комплексної системи з чотирма незалежними каналами даних; принциповим інженерним рішенням є розміщення всіх компонентів у локальній мережі реабілітаційного кабінету, тоді як зовнішнє з'єднання використовується лише модулем генерації терапевтичних зображень. У четвертому розділі описано програмну

реалізацію та клінічну апробацію на даних п'яти пацієнтів КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОР: після корекції терапевтичного зображення темп приросту кута згинання зріс у 1,9–3,9 раза, а прогнозована тривалість курсу скоротилася на 11,8–12,5%.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації є обґрунтованими: вони спираються на коректне застосування методів аналізу інтервальних даних, обчислювальної геометрії та адаптивної фільтрації, підтверджені обчислювальними експериментами, результатами клінічної апробації та впровадженнями. Висновки відповідають поставленим завданням і повністю висвітлюють отримані результати.

3. Наукова новизна отриманих результатів. До найвагоміших нових наукових результатів роботи слід віднести: вперше розроблені інтервальні математичні моделі динаміки відновлення кутів рухливості плечового суглоба, ідентифіковані адаптованими методами структурної та параметричної ідентифікації, що уможливлюють прогнозування за 3–4 попередніми сеансами та адаптивну корекцію терапевтичного протоколу; вперше запропоновану комплексну архітектуру медичної реабілітаційної програмної системи на основі оркестрації мікросервісів, яка забезпечує зменшення тривалості повного циклу реабілітації в середньому на 12%; удосконалений метод безмаркерної гоніометрії на основі аналізу трьох відеопотоків із адаптивною фільтрацією та геометричним злиттям вимірювань; а також інформаційну технологію реабілітаційної арт-терапії, що набула подальшого розвитку через інтеграцію автоматичної гоніометрії, інтервального прогнозування та генерації персоналізованого терапевтичного контенту в повний цикл керування реабілітацією.

Сформульовані положення новизни коректно кваліфіковані, відображають особистий внесок здобувача та відповідають паспорту спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

4. Практичне значення дисертації. Розроблене математичне та програмне забезпечення доведене до рівня функціонально завершеної

системи, придатної до клінічного використання. Результати впроваджено у процес реабілітаційних сеансів КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОР (скорочення курсу реабілітації в середньому на 12%), у науково-дослідну роботу кафедри фізичної терапії, ерготерапії та фізичного виховання ТНМУ імені І.Я. Горбачевського, у виробничий процес Тернопільської філії ТОВ «ЕЛЕКС» та в освітній процес кафедри комп'ютерних наук ЗУНУ, що підтверджено актами та довідками про впровадження.

5. Дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях. Ознак порушень академічної доброчесності — плагіату, фабрикації чи фальсифікації — у дисертації не виявлено; використані джерела належно процитовані. Позитивної оцінки заслуговує прозоре декларування меж використання інструментів штучного інтелекту при підготовці роботи. Повний обсяг дисертації — 236 сторінок (164 сторінки основного тексту), 25 рисунків, 16 таблиць.

Основні результати опубліковано у 9 наукових працях: 4 статті у фахових виданнях (одна — у закордонному виданні, індексованому Scopus, квартиль Q2, і три — у виданнях України категорії «Б») та 5 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 2 індексуються Scopus. Публікації повністю відображають зміст дисертації, апробація результатів достатня (АСІТ-2024, АСІТ-2025, СІТ'2023–2026).

6. Дискусійні положення та зауваження. Поряд із загальною позитивною оцінкою роботи вважаю за доцільне зазначити такі дискусійні положення та зауваження:

1. У першому розділі обмеження класичних методів прогнозування (регресійного аналізу, ARIMA, нейронних мереж) на коротких вибірках показано переважно на концептуальному рівні. Кількісне зіставлення точності інтервальних прогнозів із принаймні одним класичним методом на тих самих клінічних даних додатково підсилило б аргументацію вибору інтервального підходу.

2. У третьому розділі зазначено, що зовнішнє інтернет-з'єднання використовується лише рекомендаційним модулем для генерації терапевтичних зображень через API генеративної моделі. Доцільно було б детальніше описати склад даних, які передаються зовнішньому сервісу, та механізми їх знеособлення з огляду на вимоги до захисту медичної інформації.

3. Рекомендаційна система формує пропозиції щодо корекції терапевтичного протоколу, а остаточне рішення ухвалює фізіотерапевт. Доцільно було б передбачити формалізовану процедуру фіксації підтверджених і відхилених рекомендацій (журнал рішень), що в перспективі дало б змогу накопичувати базу знань для вдосконалення рекомендаційного модуля.

4. Впровадження системи у клінічну практику передбачає певний рівень цифрових компетентностей медичного персоналу. У роботі не окреслено вимоги до підготовки користувачів та не наведено результатів оцінювання зручності використання вебзастосунку фізіотерапевта.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер, не ставлять під сумнів отримані наукові результати та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

7. Загальний висновок. Дисертаційна робота Цапів Ярослава Андрійовича «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів засобами автоматичної безмаркерної гоніометрії, інтервального прогнозування динаміки відновлення та адаптивної корекції терапевтичного протоколу.

Враховуючи актуальність теми дослідження, ступінь наукової новизни отриманих результатів, їх теоретичну обґрунтованість, практичну значущість, повноту викладу в опублікованих працях та дотримання вимог академічної доброчесності, дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України

№ 40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та «Порядку присудження ступеня доктора 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 її автор, Цапів Ярослав Андрійович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор кафедри кібербезпеки

Західноукраїнського національного

університету,

доктор технічних наук, професор

Михайло КАСЯНЧУК

