

РІШЕННЯ

разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Цапів Ярослав Андрійович, 1993 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2015 році Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя за спеціальністю «комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» та виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Інженерія програмного забезпечення» у Західноукраїнському національному університеті.

Разова спеціалізована вчена рада ДФ 58.082.147 створена згідно наказу ректора Західноукраїнського національного університету № 425 від 17 червня 2026 року на підставі рішення Вченої ради Західноукраїнського національного університету (протокол № 10 від 17 червня 2026 року) у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради – Володимир МАНЖУЛА, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Рецензентів – Михайло КАСЯНЧУК, доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету; Ірина СПІВАК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Офіційних опонентів – Марія НАЗАРКЕВИЧ, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»; Олександр РОМАНЮК, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету.

Разова спеціалізована вчена рада ДФ 58.082.147 на засіданні 13 серпня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології Цапіву Ярославу Андрійовичу на підставі публічного захисту дисертації «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Дисертацію виконано у Західноукраїнському національному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль.

Науковий керівник Андрій ПУКАС, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису. Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням. Усі розробки та пропозиції, викладені у дисертації, зроблені автором особисто. З метою забезпечення достовірності та обґрунтованості одержаних результатів дисертаційної роботи було застосовано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Дисертаційна робота виконана державною мовою.

У дисертаційній роботі розв'язано науково-прикладну задачу підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів шляхом розроблення математичного та програмного забезпечення системи реабілітаційної арт-терапії на основі AR-технологій та автоматичної гоніометрії, яка інтегрує безмаркерне вимірювання кутів суглобів на основі аналізу трьох відеопотоків, інтервальне прогнозування динаміки відновлення рухливості та генерацію персоналізованого арт-терапевтичного контенту в замкнений адаптивний цикл керування реабілітаційним процесом.

Наукові результати, що характеризують новизну проведеного дослідження, полягають у такому:

вперше:

- розроблено інтервальні математичні моделі динаміки відновлення кутів рухливості плечового суглоба з використанням адаптованих методів структурної та параметричної ідентифікації дискретних динамічних моделей, які дають змогу прогнозувати значення кутів на основі 3–4 попередніх сеансів терапії та забезпечити адаптивну корекцію терапевтичного протоколу, підвищуючи ефективність реабілітації шляхом раннього виявлення неоптимальної динаміки відновлення;

- запропоновано комплексну архітектуру медичної реабілітаційної програмної системи, яка, на відміну від існуючих, базується на оркестрації мікросервісів: аналізу трьох відеопотоків з пріоритизацією, прогнозування, рекомендацій на основі генеративного штучного інтелекту та застосунку арт-терапії для гарнітури Magic Leap 2, а також вебзастосунку фізіотерапевта, що забезпечує зменшення тривалості повного циклу реабілітації в середньому на 12%;

удосконалено:

- метод безмаркерної гоніометрії на основі аналізу трьох відеопотоків, який базується на адаптивній фільтрації координат ключових анатомічних точок та алгоритмі геометричного злиття вимірювань від трьох ортогонально розташованих камер із пріоритизацією на основі площин руху, що забезпечує зменшення проекційної похибки вимірювання кутів суглобів до клінічно прийняттого рівня та дає змогу автоматизувати об'єктивний контроль динаміки відновлення рухливості;

набула подальшого розвитку:

– інформаційна технологія реабілітаційної арт-терапії, яка, на відміну від існуючих рішень, побудована на основі програмно-апаратних засобів з функціями автоматичної безмаркерної гоніометрії, інтервального прогнозування динаміки відновлення рухливості суглобів та генерації персоналізованого терапевтичного контенту, що забезпечує реалізацію повного циклу від автоматичного вимірювання до адаптивної корекції протоколу реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів.

Зміст дисертаційної роботи відповідає темі дослідження та спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні комплексної програмної системи реабілітаційної арт-терапії на основі AR-технологій, яка може використовуватися у клінічній практиці для об'єктивного автоматичного контролю динаміки відновлення рухливості суглобів, прогнозування результатів реабілітації та адаптивної корекції терапевтичного протоколу. Результати роботи впроваджено у процес проведення реабілітаційних сеансів КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОВ, у науково-дослідну роботу кафедри фізичної терапії, ерготерапії та фізичного виховання Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського, у виробничий процес Тернопільської філії ТОВ «ЕЛЕКС» та в освітній процес кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету, що підтверджено відповідними актами та довідками про впровадження.

Дисертаційна робота є складовою наукових досліджень Західноукраїнського національного університету, зокрема: молодіжного держбюджетного дослідження «Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування» (номер державної реєстрації 0124U000076); держбюджетного дослідження «Інформаційна технологія забезпечення ефективної акумуляції електроенергії гібридною електростанцією» (номер державної реєстрації 0126U002209); молодіжного держбюджетного дослідження «Математичне та програмне забезпечення функціонування високоефективної гібридної когенераційної установки» (номер державної реєстрації 0126U002213).

Дисертація у частині структури, змісту, загального обсягу та кількості наукових публікацій, що висувається до здобувача ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України та є результатом науково-дослідної роботи, що характеризується належним науково-методичним рівнем її виконання. Під час рецензування не виявлено ознак академічного плагіату та інших порушень, що могли б поставити під сумнів

самостійний характер виконаного дослідження та дотримання норм академічної доброчесності.

Кваліфікаційна робота написана українською мовою, містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг дисертаційної роботи викладено на 236 сторінках, з них 164 сторінки основного тексту. Робота містить 25 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел налічує 132 найменування, 8 додатків.

Здобувач має 9 наукових публікацій за темою дисертації, з них: 4 статті – у наукових фахових періодичних виданнях (1 – у закордонному виданні, що індексується наукометричною базою Scopus (Q2), 3 – у фахових виданнях України категорії «Б»); 5 – у інших виданнях апробаційного характеру, з яких 2 індексуються наукометричною базою Scopus, у тому числі:

– наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Tsapiv Y., Dyvak M., Pukas A., Petrovskyi Y., Melnyk A., Dyvak A., Banasik A., Czupryna-Nowak A., Pikiewicz P., Popyk Y. та ін. AR Technology for Restoring Upper-Limb Joint Mobility in Patients. *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16 (12). 5878. URL: <https://doi.org/10.3390/app16125878> (Scopus, Q2).

2. Пукас А. В., Цапів Я. А. Автоматизована безмаркерна система вимірювання діапазонів рухів суглобів на основі трикамерного відеоаналізу. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2026. № 1 (42). С. 54–64. URL: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2026-1-42-54-64>

3. Цапів Я. А., Пукас А. В., Біловус Д. Рекомендаційна система підтримки фізичної реабілітації на основі корекції терапевтичних зображень. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2026. № 2. С. 387–396. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-86-45>

4. Цапів Я. А., Тихий Р. Р. Інноваційна вебсистема гоніометричного аналізу на базі нейронних мереж. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2025. № 1 (40). С. 80–88. URL: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2025-1-40-80-88>

– наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Tsapiv Y., Dyvak M., Tykhyi R., Popovych D., Havrylenko A., Kasianchuk V. Automated goniometric analysis system based on neural networks. *Proceedings – International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT-2025)*. Sibenik, Croatia, 2025. P. 762–766. URL: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185805> (Scopus).

6. Tykhyi R., Tsapiv Y., Dyvak M., Popovych D., Havrylenko A., Husieva T. Software system for supporting art therapy processes using augmented reality technologies. Proceedings – International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT-2024). 2024. P. 660–664. URL: <https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712584> (Scopus).

7. Цапів Я. А. Адаптивний цикл реабілітації верхніх кінцівок на основі AR-технологій. Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали весняної школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ'2026. Тернопіль: ЗУНУ, 2026. С. 78–79.

8. Цапів Я. А. Архітектура програмної системи поєднання арт-терапії та фізичної реабілітації з використанням технології доповненої реальності. Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали зимової школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ'2025. Тернопіль: ЗУНУ, 2025. С. 57–58.

9. Цапів Я. А., Головка Р. А., Шостопаль В. А. Математичне та програмне забезпечення для організації процесу тестування web-орієнтованих систем. Комп'ютерні інформаційні технології: матеріали школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ'2023. Тернопіль: ЗУНУ, 2023. С. 90.

У дискусії взяли участь члени разової спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці та висловили зауваження:

Голова ради: Володимир МАНЖУЛА, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету. Без зауважень.

Рецензент: Михайло КАСЯНЧУК, доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету. Зауваження:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

Рецензент: Ірина СПІВАК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету. Зауваження:

1. Для структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей динаміки відновлення застосовано метаевристичний алгоритм на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії. Його вибір обґрунтовано переважно посиланнями на літературні джерела, водночас у другому розділі бракує кількісного порівняння ефективності цього алгоритму з іншими метаевристиками (генетичним алгоритмом, методом рою часток, диференціальною еволюцією) безпосередньо на задачі ідентифікації моделей динаміки відновлення кутів рухливості суглобів.

2. Ефективність алгоритму бджолоїної колонії суттєво залежить від значень його керуючих параметрів (кількості моделей-претендентів S , показника вичерпності джерела $LIMIT$, загальної кількості ітерацій MCN). У роботі не наведено дослідження чутливості результатів структурної та параметричної ідентифікації до вибору цих параметрів.

3. Прогнозування динаміки відновлення здійснюється на основі 3–4 попередніх сеансів за неявного припущення регулярності їх проведення. У роботі не розглянуто питання стійкості прогнозу в разі пропуску пацієнтом сеансів або нерегулярних часових інтервалів між ними, що є типовою ситуацією у клінічній практиці.

Опонент: Марія НАЗАРКЕВИЧ, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка». Зауваження:

1. Порівняння моделей оцінки пози людини у першому розділі (таблиця 1.1) виконано переважно за літературними даними. Доцільно було б доповнити його власним експериментальним зіставленням двох-трьох найкращих детекторів (наприклад, YOLOv8-pose, MediaPipe Pose Landmarker, ViTPose) за точністю та швидкістю безпосередньо на цільових рухах реабілітаційних пацієнтів.

2. Для оцінювання точності методу гоніометрії наведено середню абсолютну похибку. Доцільно було б доповнити аналіз додатковими метриками (середньоквадратичною похибкою, розподілом похибок за типами рухів), що дало б повнішу картину метрологічних характеристик методу.

3. У тексті роботи трапляються поодинокі стилістичні неточності та неуніфіковане написання окремих англomовних термінів і аббревіатур, що, втім, не впливає на зміст та сприйняття роботи.

Опонент: Олександр РОМАНЮК, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету. Зауваження:

1. Під час рухів плеча можливі компенсаторні рухи лопатки, тулуба і шийного відділу, які можуть збільшувати вимірний кут без реального покращення рухливості цільового суглоба. У дисертації не показано, як система розпізнає та виключає такі компенсації.

2. Показник частоти оброблення відео не дає цілісного уявлення про продуктивність комплексу. Доцільно було б навести наскрізну затримку від отримання кадру до відображення результату, час відповіді кожного мікросервісу, використання процесора, пам'яті й мережі, пропускну здатність та стабільність роботи під тривалим навантаженням.

3. Для взаємодії пацієнта з віртуальним полотном застосовано механізм тактильної компенсації. Дискусійним є питання, чи розглядалися альтернативні канали зворотного зв'язку (звуковий, вібраційний) та їх можливий вплив на точність і природність рухів пацієнта під час арт-терапевтичної вправи.

4. Контурні зображення-розмальовки генеруються багатоступеневим AI-контуром на основі великої мовної та генеративної моделей. У роботі не описано формалізовану процедуру контролю якості та терапевтичної придатності згенерованого зображення до його використання у сеансі.

5. AR-застосунок арт-терапії реалізовано для гарнітури Magic Leap 2, яка є відносно дорогим пропрієтарним пристроєм. Не розглянуто можливість перенесення застосунку на масові AR/MR-гарнітури (Microsoft HoloLens 2, Meta Quest 3).

Результати відкритого голосування:

«За» – 5 членів ради,

«Проти» – 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Цапіву Ярославу Андрійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової
спеціалізованої вченої ради



Володимир МАНЖУЛА