

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Західноукраїнського
національного університету
Микола ДИВАК



ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Цапів Ярослава Андрійовича на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Витяг

із протоколу засідання фахового семінару кафедри комп'ютерних наук
від 8 червня 2026 р., протокол № 12

Присутні:

Проректор з наукової роботи, доктор технічних наук, професор Дивак М.П., завідувач кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Пукас А.В. (*науковий керівник*), професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Мельник А.М., професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Манжула В.І. (*голова разової ради*), професор кафедри кібербезпеки, доктор технічних наук, професор Касянчук М.М. (*рецензент*), доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Співак І.Я. (*рецензент*), доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Крепич С.Я., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Шпінталь М.Я., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Марценюк Є.О., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Стасів І.С., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Войтюк І.Ф., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Шевчук Р.П. (онлайн), доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Масляк Ю.Б., доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат економічних наук, доцент Гончар Л.І.,

доцент кафедри комп'ютерних наук, доктор філософії Папа О.А., доцент кафедри комп'ютерних наук, доктор філософії Тимчишин В.С., старший викладач кафедри комп'ютерних наук, доктор філософії Юшко А.В., старший викладач кафедри комп'ютерних наук, доктор філософії Сімак А.Ю., викладач Смаль І.В., професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор Назаркевич М.А. (*опонент*), завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор Романюк О.Н. (*опонент*) старший лаборант кафедри комп'ютерних наук Сімак О.Г.

З присутніх – 7 докторів технічних наук, 8 кандидатів технічних наук, 1 кандидат економічних наук та 4 доктори філософії – фахівці за профілем поданої на розгляд дисертації.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження Цапів Ярослава Андрійовича на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення, щодо його наукової новизни, теоретичного та практичного значення результатів.

Слухали:

Доповідь здобувача Цапів Ярослава Андрійовича про результати дисертаційного дослідження.

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, завдання, охарактеризував об'єкт та предмет дослідження, виклав основні наукові положення, що виносяться на захист.

Автором було проведено аналіз існуючих методів і програмного забезпечення для вимірювання кутів суглобів верхніх кінцівок, технологій VR/AR у реабілітації, методів прогнозування динаміки відновлення та систем рекомендацій у фізичній терапії. Було виявлено, що існуючі системи мають суттєві обмеження: контактні методи гоніометрії мають недостатню точність, маркерні системи є непрактичними через високу вартість, а існуючі безмаркерні системи потребують адаптивної фільтрації шуму та багатокамерної тріангуляції. Жодна існуюча VR/AR-реабілітаційна платформа не забезпечує автоматичної безмаркерної гоніометрії, прогнозування динаміки відновлення та адаптивної корекції терапевтичного протоколу.

Здобувачем було розроблено метод безмаркерної гоніометрії на основі аналізу трьох відеопотоків з адаптивною фільтрацією координат ключових анатомічних точок OneEuro-фільтром та алгоритмом геометричного злиття вимірювань від трьох ортогонально розташованих камер із пріоритизацією на основі площин руху, що забезпечує зменшення проекційної похибки з 30–50° до 3–5°.

Також було розроблено інтервальні математичні моделі динаміки відновлення кутів рухливості суглобів із застосуванням алгоритму бджолоїної колонії для структурної та параметричної ідентифікації. На клінічних даних трьох пацієнтів ідентифіковано моделі для трьох ключових рухів плечового суглоба: модель згинання порядку $d=3$ та моделі розгинання і відведення порядку $d=4$.

Спроектовано комплексну архітектуру медичної реабілітаційної програмної системи, яка 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. Взаємодію організовано через чотири канали даних: REST API, WebSocket, WebRTC та канал прогнозування.

Розроблено адаптивний цикл прогнозування та корекції терапевтичного протоколу з рекомендаційною системою та багатоступеневим AI-контуром генерації персоналізованого арт-терапевтичного контенту. Зміна терапевтичного зображення є неінвазивним втручанням – пацієнт не усвідомлює зміни терапевтичної стратегії.

Клінічна апробація на двох реабілітаційних пацієнтах показала, що після корекції терапевтичного зображення прогнозована кількість сеансів скоротилася на 11,8–12,5%.

Після завершення доповіді Цапів Я.А. присутніми були поставлені такі запитання:

д.т.н., проф. Дивак М.П.: Як відомо, фільтр Калмана використовується для комплексування потоків, а не для фільтрації шуму. Для чого у роботі використано фільтр Калмана?

Відповідь: Фільтр Калмана у роботі використано саме за його канонічним призначенням - для комплексування потоків даних. Конкретно, він об'єднує одночасні вимірювання однієї анатомічної точки, отримані з трьох камер, у єдину узгоджену оцінку координат, де ваговий внесок кожної камери визначається через матрицю шуму вимірювань, обернено пропорційну квадрату впевненості нейромережевого детектора. Для задачі згладжування шуму та тремору координат у часі використано OneEuro-фільтр, який простіший в налаштуванні та має обчислювальну складність $O(1)$ на координату. Таким чином, у роботі реалізовано двоетапну фільтрацію: OneEuro виконує часове згладжування координат кожної камери окремо, а фільтр Калмана здійснює просторове комплексування згладжених вимірювань від трьох камер перед обчисленням кутів суглобів.

д.т.н., проф. Дивак М.П.: Чи може програмне середовище претендувати на наукову новизну?

Відповідь: На наукову новизну може претендувати лише архітектура, взаємодія компонентів якої дає синергетичний ефект. Проте, саме програмне середовище є однією з версій реалізації архітектури і не вважається науковою новизною за спеціальністю 121.

д.т.н., проф. Назаркевич М.А: Що таке метод автоматизованої гоніометрії і що він дає?

Відповідь: Метод дозволяє автоматично збирати в реальному часі значення всіх кутів згину верхніх кінцівок під час руху пацієнта. Система фіксує кожен сеанс та максимальне значення кутів, що дає змогу фізіотерапевту відстежувати динаміку відновлення та коригувати протокол.

д.т.н., проф. Манжула В.І.: Ви сказали, що складність фільтра Калмана кубічна. Поясніть, яка складність реалізації запропонованого методу.

Відповідь: OneEuro-фільтр має складність $O(1)$ на одну координату – сталий набір операцій без залежності від кількості попередніх кадрів. Загальна складність лінійна $O(N)$ від кількості точок.

д.т.н., проф. Манжула В.І.: Чи розглядали інші методи, крім ABC?

Відповідь: Проводив аналіз інших метаевристичних методів. Основною причиною вибору ABC є те, що науковці кафедри мають значний досвід апробації цього методу для задач ідентифікації інтервальних моделей. Метод працює з малими вибірками та не потребує обчислення похідних цільової функції.

к.т.н., доц. Співак І.Я.: Чи залежить точність моделей від умов зйомки – освітлення, положення тіла?

Відповідь: Так, залежить. Але реабілітація проходить у спеціально відведеному місці з налаштованими камерами та відповідним освітленням. Під час тестування проблем не виявлено.

д.т.н., проф. Романюк О.Н.: Доведіть, що трьох камер достатньо. Може потрібно чотири або шість?

Відповідь: Дослідження показало, що за допомогою трьох ортогонально розташованих камер фіксуються всі визначені кутові параметри з похибкою менше 4 градусів, що знаходиться в межах мінімальної клінічно значущої різниці, тобто 4 камера буде надлишковою.

д.т.н., проф. Романюк О.Н.: Які наукові результати відповідають спеціальності 121? Що нового в інженерії програмного забезпечення?

Відповідь: Розроблена архітектура програмного рішення, яка поєднує апаратні і програмні засоби для досягнення мети – підвищення ефективності реабілітації. Саме архітектурне рішення призвело до підвищення ефективності.

д.т.н., проф. Касянчук М.М.: Ви розробляєте безмаркерний метод гоніометрії, чи удосконалюєте?

Відповідь: Безмаркерний метод існує, але саме в такому поєднанні – з трьома камерами, адаптивною фільтрацією та пріоритизацією на основі площин руху – він раніше не застосовувався для гоніометрії у фізичній реабілітації.

викладач Смаль В.І.: Система використовує дороговартісну гарнітуру Magic Leap 2. Чи розглядали дешевші аналоги?

Відповідь: Так, Magic Leap 2 є дороговартісним і коштує 6-7 тисяч доларів, також при використанні більше однієї години нагрівається. У подальшому розвитку системи ми розглядаємо використання Meta Quest з AR-режимом, що є значно дешевшим. Система не прив'язана до конкретної

гарнітури – вона використовується лише для арт-терапії. Важливо, щоб гарнітура розпізнавала руки без пульта, оскільки пацієнти з травмами не можуть тримати контролер.

Після відповідей дисертанта з характеристикою його наукової зрілості виступив **науковий керівник, доктор технічних наук, професор Пукас Андрій Васильович** із висновком.

У висновку також стисло зазначено про актуальність теми дослідження, публікацію наукових статей та апробацію результатів дослідження.

Як показав аналіз змісту наукової розробки, тема дисертаційної роботи Цапів Я.А. «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» є актуальною, оскільки вона стосується розв'язку важливої задачі розробки програмного забезпечення для підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів. Актуальність теми зумовлена повномасштабним вторгненням в Україну та зростаючими потребами у засобах підтримки реабілітаційних процесів захисників, які отримали травми кінцівок.

У дисертації Цапів Я.А. запропонував та обґрунтував комплексний підхід до підвищення ефективності реабілітації, що включає метод безмаркерної гоніометрії на основі трьох відеопотоків, інтервальні математичні моделі динаміки відновлення із застосуванням алгоритму бджолоїної колонії та комплексну програмну систему з адаптивним циклом керування на основі генеративного штучного інтелекту. Ярослав не претендує на медичні здобутки – його задачею була розробка програмного рішення, але в процесі виникали додаткові задачі: автоматичний збір даних, прогнозування динаміки відновлення кутів та використання засобів штучного інтелекту для генерації терапевтичних зображень.

Програмне середовище можна розвивати для різних суглобів і для нижніх кінцівок, для різних видів реабілітації. Апробація проведена на плечовому суглобі, є можливість розширення та використання іншими фізіотерапевтами.

У процесі виконання дисертаційної роботи Цапів Я.А. проявив вміння самостійно вирішувати складні наукові та технічні задачі, добре володіє іноземною мовою, має статті, які індексуються наукометричними базами, неодноразово представляв роботу на міжнародних конференціях і за кордоном, проявив себе як здібний науковець.

У висновку науковий керівник зазначив, що дисертація Цапів Я.А. є завершеною та самостійною роботою і може бути рекомендована до розгляду у разовій спеціалізованій вченій раді.

Після цього слово було надано **рецензентам** дисертаційної роботи:

д.т.н., проф. Касянчук М.М.: дисертація на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» представляє собою комплексне дослідження, спрямоване на вирішення важливого науково-прикладного завдання. Автор продемонстрував глибоке розуміння проблеми та запропонував обґрунтовані шляхи її вирішення.

Наукова новизна результатів дослідження виявляється у запропонованому методі безмаркерної гоніометрії з використанням трьох ортогонально розташованих камер та адаптивної фільтрації, що забезпечує клінічно прийнятну точність менше 4° . Реалізація цього методу у вигляді програмної моделі є значним внеском у автоматизацію процесів вимірювання кутів суглобів.

Теоретичне значення дослідження полягає в адаптації методів інтервальної ідентифікації до задачі прогнозування динаміки відновлення рухливості суглобів, що відкриває нові перспективи для створення адаптивних систем підтримки реабілітаційного процесу.

Практичне значення полягає у створенні комплексної програмної системи, яка вже продемонструвала свою ефективність у клінічних умовах. Згідно з наведеними даними, після корекції терапевтичного протоколу прогнозована кількість сеансів скоротилася на 12%, що підтверджується актами впровадження у КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОР.

Дисертація Цапів Я.А. може бути рекомендована до разової спеціалізованої вченої ради для розгляду та захисту на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

к.т.н., доц. Співак І.Я.: дисертація, присвячена розробці математичного та програмного забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій, представляє значний внесок у розвиток програмного забезпечення медичних реабілітаційних систем. Автор чітко визначив мету своєї роботи – підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів шляхом створення математичного та програмного забезпечення, що реалізує замкнутий адаптивний цикл керування реабілітаційним процесом, та успішно її досяг.

Всі заплановані завдання було успішно виконано та експериментально доведено. Автором в дисертації було виділено 4 елементи наукової новизни. Перший елемент – інтервальні математичні моделі – побудовано та апробовано. Другий елемент – комплексна архітектура медичної реабілітаційної програмної системи – спроектовано, реалізовано на базі оркестрації мікросервісів, що забезпечує зменшення тривалості повного циклу реабілітації в середньому на 12%. Третій елемент – метод безмаркерної гоніометрії – удосконалено на основі адаптивної фільтрації координат ключових анатомічних точок та алгоритму геометричного злиття вимірювань від трьох ортогонально розташованих камер із пріоритизацією. Четвертий елемент – інформаційна технологія реабілітаційної арт-терапії – набула подальшого розвитку на основі програмно-апаратних засобів з функціями автоматичної безмаркерної гоніометрії, інтервального прогнозування динаміки відновлення рухливості суглобів та генерації персоналізованого терапевтичного контенту.

Загалом дисертація пропонує комплексне програмне рішення, яке поєднує штучний інтелект, комп'ютерний зір, математичне моделювання та доповнену реальність для підвищення ефективності фізичної реабілітації.

Автор створив повноцінну систему, яка пройшла клінічну апробацію на реальних пацієнтах і впроваджена в практику медичних установ.

Зауваження до роботи: у першому розділі бажано подати більше кількісних характеристик систем реабілітації у порівняльному аналізі; у другому розділі є нюанси формульного представлення та бажано пояснити вибір порядків $d=3$ та $d=4$; у третьому розділі доцільно приділити увагу відмовостійкості системи; у четвертому розділі клінічна апробація проведена на обмеженій кількості пацієнтів.

Робота є завершеним дослідженням, виконана на належному науковому, теоретичному і експериментальному рівні та відповідає спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

На підставі результатів обговорення присутні на засіданні

Постановили:

Прийняти висновок щодо дисертаційної роботи Цапів Ярослава Андрійовича на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» як такої, що відповідає вимогам, які заявлені до дисертації.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Зростаючі потреби в реабілітаційних послугах, зумовлені як загальносвітовими тенденціями старіння населення та збільшення кількості травм опорно-рухового апарату, так і специфічними для України наслідками повномасштабного вторгнення, визначають актуальність розробки сучасних програмних засобів підтримки фізичної реабілітації. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 2,4 мільярда людей потребують реабілітаційних послуг. В Україні ця проблема набула особливої гостроти – значна частка бойових травм стосується ушкоджень кінцівок, що потребують тривалого відновлення рухливості суглобів.

Класична фізіотерапія має низку обмежень: оцінка рухливості здійснюється ручним гоніометром, кількісні дані про динаміку відновлення часто не збираються, прогнозування результатів не застосовується. Існуючі VR/AR-реабілітаційні платформи не поєднують водночас безмаркерну гоніометрію, інтервальне прогнозування, AR-арт-терапію, рекомендаційну систему та генеративний AI у замкнений адаптивний цикл керування реабілітацією.

Таким чином, розробка математичного та програмного забезпечення системи реабілітаційної арт-терапії на основі AR-технологій є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках пріоритетного напрямку «Інформаційні та комунікаційні технології» відповідно до закону України

«Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та пов'язана з науковими дослідженнями кафедри комп'ютерних наук ЗУНУ.

У процесі виконання дисертаційного дослідження використано результати молодіжного держбюджетного дослідження «Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування» (0124U000076), держбюджетного дослідження «Інформаційна технологія забезпечення ефективної акумуляції електроенергії гібридною електростанцією» (0126U002209) та молодіжного держбюджетного дослідження «Математичне та програмне забезпечення функціонування вискоефективної гібридної когенераційної установки» (0126U002213).

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів у спосіб розроблення математичного та програмного забезпечення системи реабілітаційної арт-терапії на основі AR-технологій та автоматичної гоніометрії.

Для досягнення зазначеної мети встановлено такі завдання дослідження:

1) провести аналіз існуючих методів і програмного забезпечення для фізичної реабілітації, зокрема на основі VR/AR технологій, вимірювання кутів суглобів, методів прогнозування динаміки відновлення та систем рекомендацій у фізичній терапії;

2) розробити метод безмаркерної гоніометрії на основі аналізу трьох відеопотоків з адаптивною фільтрацією координат та алгоритмом геометричного злиття вимірювань для обчислення 3D-координат суглобів;

3) побудувати інтервальні математичні моделі динаміки відновлення кутів рухливості плечового суглоба на основі адаптованих методів структурної та параметричної ідентифікації з використанням алгоритму бджолиної колонії;

4) вдосконалити архітектуру комплексної програмної системи реабілітації, що включає підсистему автоматичної гоніометрії, AR арт-терапевтичний застосунок для гарнітури Magic Leap 2, серверну частину з модулями прогнозування та рекомендацій, вебзастосунок фізіотерапевта;

5) інтегрувати розроблені компоненти – автоматичну безмаркерну гоніометрію, інтервальне прогнозування та систему рекомендацій на основі генеративного штучного інтелекту – в єдиний замкнутий адаптивний цикл прогнозування та корекції терапевтичного протоколу;

6) реалізувати програмну систему, провести апробацію на реальних даних реабілітації пацієнтів та клінічне дослідження ефективності розроблених методів.

Об'єкт дослідження – процеси реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів із застосуванням арт-терапевтичних методик.

Предмет дослідження – математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій, автоматичної гоніометрії та інтервальних математичних моделей динаміки відновлення рухливості суглобів.

Методи дослідження: методи адаптивної фільтрації сигналів (фільтр OneEuro) – для зменшення шуму у координатах ключових анатомічних точок; методи обчислювальної геометрії (триангуляція, геометрична фузія) – для перетворення 2D-координат від трьох відеопотоків у 3D-координати суглобів з пріоритизацією на основі площин руху; методи інтервального аналізу та теорії ідентифікації – для побудови інтервальних дискретних динамічних моделей відновлення рухливості суглобів; метаевристичний алгоритм на основі поведінкової моделі бджолої колонії (ABC) – для структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей; методи нейромережевої оцінки пози людини (HPE) на основі моделей YOLOv8-pose та MediaPipe Hand Landmarker – для детекції анатомічних точок у відеопотоці; методи програмної інженерії та розробки AR-застосунків – для проектування та реалізації комплексної програмної системи.

Наукова новизна отриманих результатів.

У межах дисертаційної роботи:

- 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;

- вперше 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.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Наукова обґрунтованість та достовірність основних положень дисертації забезпечувалась за допомогою загальнонаукових і спеціальних методів наукових досліджень, використанням актуальної інформації з вітчизняних і міжнародних джерел, а також результатами клінічної апробації на реальних пацієнтах.

Практичне значення роботи.

Теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи використано:

– у процес проведення реабілітаційних сеансів КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОР, де метод безмаркерної гоніометрії та програмне забезпечення системи AR-реабілітації використовуються для об'єктивного вимірювання кутів рухливості суглобів та адаптивної корекції терапевтичного протоколу, що забезпечило скорочення курсу реабілітації в середньому на 12% (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 11 травня 2026 р.);

– у науково-дослідну роботу кафедри фізичної терапії, ерготерапії та фізичного виховання Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського МОЗ України, де спосіб визначення кутів суглобової рухливості та програмний комплекс для реабілітації верхніх кінцівок засобами арт-терапії в середовищі доповненої реальності використовуються при виконанні спільного науково-дослідного проекту з кафедрою комп'ютерних наук ЗУНУ (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 15 травня 2026 р.);

– у виробничий процес Тернопільської філії компанії ТОВ «ЕЛЕКС», де результати дисертаційної роботи використовуються при розробці бізнес-рішень у сфері AR/VR-застосунків (довідка про впровадження від 11 травня 2026 р.);

– в освітній процес кафедри комп'ютерних наук факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету при підготовці студентів спеціальності F2 (121) – Інженерія програмного забезпечення, зокрема при викладанні дисциплін «Архітектура та проектування програмного забезпечення», «Інтелектуальний аналіз даних» та «Інтервальні обчислення» (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 3 червня 2026 р.).

Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 9 наукових праць, зокрема 4 статті у періодичних фахових виданнях, з яких 1 стаття у закордонному періодичному виданні, що індексується наукометричною базою Scopus (Q2), та 3 у виданнях України категорії «Б», а також 5 публікацій у матеріалах конференцій, 2 з яких індексуються наукометричною базою Scopus.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Dyvak M, Tsapiv Y, Pukas A, Petrovskiy Y, Melnyk A, Dyvak A, Banasik A, Czupryna-Nowak A, Pikiewicz P, Popuk Y, Dzyha Y. AR Technology for

Restoring Upper Limb Joint Mobility in Patients. Applied Sciences, 2026, Vol. 17. 5878 (Scopus, Q2). ISSN: 2076-3417. DOI: [10.3390/app16125878](https://doi.org/10.3390/app16125878).

2. Цапів Я.А., Тихий Р.Р. Інноваційна вебсистема гоніометричного аналізу. Наукові праці ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”, 2025, № 1 (40), с. 80–88. (кат. Б), ISSN 1996-1588.

DOI: [10.31474/1996-1588-2025-1-40-80-88](https://doi.org/10.31474/1996-1588-2025-1-40-80-88)

3. Пукас А.В., Цапів Я.А. Автоматизована безмаркерна система вимірювання діапазонів рухів суглобів. Наукові праці ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”, 2026, № 1 (42), с. 54–64. (кат. Б). ISSN 1996-1588. DOI: [10.31474/1996-1588-2026-1-42-54-64](https://doi.org/10.31474/1996-1588-2026-1-42-54-64)

4. Цапів Я.А., Пукас А.В., Біловус Д. Рекомендаційна система підтримки фізичної реабілітації. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2026. № 2, с.387-396 (кат. Б). ISSN 2219-9365.

DOI: [10.31891/2219-9365-2026-86-45](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-86-45)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Tsapiv Y., Dyvak M., Popovych D., Havrylenko A., Tykhyi R. Kasianchuk V. Automated Goniometric Analysis System Based on Neural Networks, 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 2025, pp. 762-766, [10.1109/ACIT65614.2025.11185897](https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185897). (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, 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024, pp. 660-664, [10.1109/ACIT62333.2024.10712584](https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712584). (Scopus)

7. Головка Р.А., Шостопаль В.А., Цапів Я.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, с.90.

8. Цапів Я.А. Архітектура програмної системи арт-терапії та реабілітації з AR. Комп’ютерні інформаційні технології: Матеріали зимової школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ’2025. – Тернопіль: ЗУНУ, с. 57–58.

9. Цапів Я.А. Адаптивний цикл реабілітації верхніх кінцівок на основі AR-технологій. Матеріали весняної школи-семінару молодих вчених і студентів СІТ’2025. – Тернопіль: ЗУНУ, с. 78–79.

Текст дисертаційної роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень StrikePlagiarism. За результатами перевірки не виявлено текстових запозичень без належного посилання на джерело та встановлено, що дисертаційна робота Цапів Я.А. на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» відповідає принципам **академічної доброчесності**.

Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи презентовано на 5 конференціях, зокрема:

– 14th IEEE ACIT-2024, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024;

– 15th IEEE ACIT-2025, Sibenik, Croatia, 2025;

– Школа-семінар СІТ'2023, СІТ'2025, СІТ'2026, Тернопіль, ЗУНУ.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація написана з правильним вживанням технічної та спеціальної термінології. Стиль викладення в дисертації матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечують легкість і доступність їх сприйняття.

Відповідність дисертації нормативно встановленим вимогам та можливість подання до захисту. Ознайомившись із дисертаційним дослідженням Цапів Ярослава Андрійовича та науковими публікаціями, в яких висвітлені основні результати, а також взявши до уваги підсумки фахового семінару, вважаємо, що дисертаційна робота Цапів Я.А. на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» відповідає 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.

У результаті розгляду дисертації Цапів Ярослава Андрійовича та повноти публікацій основних результатів дослідження

Ухвалили:

1. Пропонувати Вченій раді затвердити такий склад разової спеціалізованої вченої ради:

Головою разової спеціалізованої вченої ради призначити:

доктора технічних наук, професора, Манжулу Володимира Івановича, професора кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Рецензентами:

доктора технічних наук, професора, Касянчука Михайла Миколайовича, професора кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету.

кандидата технічних наук, доцента, Співак Ірину Ярославівну, доцента кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Опонентами:

доктора технічних наук, професора, Назаркевич Марію Андріївну, професора кафедри інформаційних систем та мереж Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

доктора технічних наук, професора, Романюка Олександра Никифоровича, завідувача кафедри програмного забезпечення Факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Вінницького національного технічного університету.

2. Рекомендувати новоствореній разовій спеціалізованій вченій раді прийняти дисертаційну роботу Цапів Ярослава Андрійовича на тему «Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій» до розгляду та захисту.

Головуючий на засіданні

д.т.н., професор, професор кафедри
комп'ютерних наук



Андрій МЕЛЬНИК