

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004205

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 31-07-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ЗУНУ № 606 від 28.08.2026 р.
про видачу диплома



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Цапів Ярослав Андрійович

2. Yaroslav A. Tsapiv

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0008-8202-7325

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 121

Назва наукової спеціальності: Інженерія програмного забезпечення

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Інженерія програмного забезпечення

Дата захисту: 13-08-2026

Спеціальність за освітою: Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

Місце роботи здобувача: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 14978

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 50.41.25, 76.29.60, 28.29.59

Тема дисертації:

1. Математичне та програмне забезпечення реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій
2. Mathematical and software support for rehabilitation art therapy of patients' upper limbs based on AR technologies

Реферат/анотація:

1. 1. Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуального науково-технічного завдання – розробки математичного та програмного забезпечення системи реабілітаційної арт-терапії верхніх кінцівок пацієнтів на основі AR-технологій, що забезпечує автоматичний об'єктивний контроль динаміки відновлення рухливості суглобів, прогнозування результатів реабілітації та адаптивну корекцію терапевтичного протоколу. Актуальність роботи зумовлена тим, що існуючі системи фізичної реабілітації верхніх кінцівок характеризуються суб'єктивністю оцінювання прогресу (механічні гоніометри мають похибку 5–10°), відсутністю об'єктивного прогнозування результатів лікування та неможливістю адаптивної корекції терапевтичного протоколу в реальному часі, а порівняльний аналіз існуючих VR/AR-реабілітаційних платформ виявив критичний розрив: жодна система не інтегрує одночасно безмаркерну гоніометрію, інтервальне прогнозування, AR-арт-терапію та рекомендаційну систему у замкнений адаптивний цикл. Для

вирішення цієї проблеми 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 прийнятного 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. Програмну реалізацію виконано з використанням стеку технологій: Python з YOLOv8-pose для мікросервісу гоніометрії, NestJS із PostgreSQL для центрального сервера-оркестратора, Unity для AR-застосунку на Magic Leap 2 та React для вебзастосунку фізіотерапевта. Апробація розробленої системи на клінічних даних двох реабілітаційних пацієнтів КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОВ підтвердила її ефективність: інтервальна модель виявила неоптимальну динаміку відновлення вже після 3 сеансів, рекомендаційна система запропонувала зміну терапевтичного зображення, після корекції прогнозована кількість сеансів до нормативного діапазону скоротилася на 12%. Результати дисертації впроваджено у реабілітаційний процес КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» ТОВ, у науково-дослідну роботу кафедри фізичної терапії Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського, у виробничий процес ТОВ «ЕЛЕКС» та у освітній процес кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

2. 2. The dissertation is devoted to solving a relevant scientific and technical problem – development of mathematical and software support for a rehabilitation art therapy system for patients' upper limbs based on AR technologies, which provides automatic objective control of joint mobility recovery dynamics, prediction of rehabilitation outcomes, and adaptive correction of the therapeutic protocol. The relevance of the work is due to the fact that existing physical rehabilitation systems for upper limbs are characterized by subjective progress assessment (mechanical goniometers have an error of 5–10°), lack of objective treatment outcome prediction, and inability to adaptively correct the therapeutic protocol in real time, while a comparative analysis of existing VR/AR rehabilitation platforms revealed a critical gap: no system simultaneously integrates markerless goniometry, interval prediction, AR art therapy, and a recommendation system into a closed adaptive cycle. To solve this problem, interval mathematical models of shoulder joint mobility recovery dynamics were developed for the first time using adapted methods of structural and parametric identification of discrete dynamic models, which allow predicting angle values based on 3–4 previous therapy sessions and ensuring adaptive correction of the therapeutic protocol, improving rehabilitation effectiveness through early detection of suboptimal recovery dynamics. For the first time, a comprehensive architecture of a medical rehabilitation software system was proposed, which, unlike existing ones, is based on microservice orchestration: three-video-stream analysis with prioritization, forecasting, recommendations based on generative artificial intelligence, and an art therapy application for the Magic Leap 2 headset, as well as a physiotherapist web application, providing an average reduction of the full rehabilitation cycle duration by 12%. The method of markerless goniometry based on the analysis of three video streams was improved, which is based on adaptive filtering of key anatomical landmark

coordinates and an algorithm for geometric fusion of measurements from three orthogonally positioned cameras with prioritization based on movement planes, ensuring reduction of the projection error of joint angle measurement to a clinically acceptable level and enabling automated objective control of mobility recovery dynamics. The information technology of rehabilitation art therapy was further developed, which, unlike existing solutions, is built on software and hardware tools with functions of automatic markerless goniometry, interval prediction of joint mobility recovery dynamics, and generation of personalized therapeutic content, ensuring the implementation of the full cycle from automatic measurement to adaptive correction of the upper limb rehabilitation protocol. The software implementation was performed using a technology stack: Python with YOLOv8-pose for the goniometry microservice, NestJS with PostgreSQL for the central orchestrator server, Unity for the AR application on Magic Leap 2, and React for the physiotherapist web application. Validation of the developed system on clinical data from five rehabilitation patients at the Ternopil Regional Clinical Hospital confirmed its effectiveness: the interval model detected suboptimal recovery dynamics after just 3 sessions, the recommendation system proposed a change of the therapeutic image, after correction the predicted number of sessions to reach the normative range decreased by 12%. The results of the dissertation were implemented in the rehabilitation process at the Ternopil Regional Clinical Hospital, in the research activities of the Department of Physical Therapy at Ternopil National Medical University named after I.Ya. Horbachevsky, in the production process of ELEKS LLC, and in the educational process of the Department of Computer Sciences at West Ukrainian National University.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

1. Dyvak M, Tsapiv Y, Pukas A, Petrovskiy Y, Melnyk A, Dyvak A, Banasik A, Czupryna-Nowak A, Pikiewicz P, Popyk Y, et al. AR Technology for Restoring Upper-Limb Joint Mobility in Patients. *Applied Sciences*. 2026; 16(12):5878.
2. 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. ISSN 1996-1588. DOI: <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 на основі трикамерного відеоаналізу. Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", 2026, № 1 (42), с. 54–64. ISSN 1996-1588. DOI: <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 на основі корекції терапевтичних зображень. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2026. № 2, с.387-396 (кат. Б). ISSN 2219-9365. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-86-45>
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. ISSN 2770-5218. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185897> (Scopus).
6. Tykhyi R., Tsapiv Ya., 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, p. 660–664. ISSN 2770-5218. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712584> (Scopus).

- 7. Головка Р.А., Шостопадь 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.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість: підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок пацієнтів

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0124U000076, 0126U002209, 0126U002213

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Пукас Андрій Васильович

2. Andrii V. Pukas

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0230-9741

Додаткова інформація: Web of Science Researcher ID: G-6284-2011;

<http://www.scopus.com/inward/authorDetails.url?authorID=8339656100&partnerID=MN8TOARS>;

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=d3LVjQcAAAAJ&hl=uk&oi=sra>

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Назаркевич Марія Андріївна

2. Mariia A. Nazarkevych

Кваліфікація: д.т.н., професор, 21.05.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6528-9867

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Романюк Олександр Никифорович

2. Oleksandr Romanyuk

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2245-3364

Додаткова інформація: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57105210600>

<https://publons.com/researcher/1935170/olexander-n-romanyuk/publications/>

https://scholar.google.com.ua/citations?user=Q9X_9U4AAAAJ&hl=ua <https://dblp.uni-trier.de/pid/284/3423.html>

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Касянчук Михайло Миколайович

2. Mykhaylo Kasianchuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.21

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4469-8055

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Співак Ірина Ярославівна

2. Iryna Y. Spivak

Кваліфікація: к. т. н., доц., 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4831-0780

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради

Манжула Володимир Іванович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Манжула Володимир Іванович

Відповідальний за підготовку
облікових документів

Сидорович Олена Юріївна

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна