

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004841

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 25-08-2026

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Палажченко Євген Володимирович

2. Yevhen Palazhchenko

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 25599 Комп'ютерні науки та інформаційні технології

Дата захисту: 28-08-2026

Спеціальність за освітою: 122 Комп'ютерні науки

Місце роботи здобувача: Організація відсутня

Код за ЄДРПОУ: 0000000000

Місцезнаходження: 00000, Київ, 00000, Україна

Форма власності: Змішана

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 16035

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, 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: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54.04, 20.54.10, 28.23

Тема дисертації:

1. Методи та інформаційна технологія для інтелектуального навчального середовища та віртуальних експериментів на основі цифрових двійників
2. Methods and information technology for intelligent learning environments and virtual experiments based on digital twins

Реферат/анотація:

1. У дисертації розглядається завдання підвищення ефективності, безпеки та доступності взаємодії людини та робота у переході до людиноорієнтованої парадигми, де продуктивність кіберфізичних систем слід узгодити з благополуччям людини та її фізичною й емоційною безпекою, тоді як дослідження й підготовка операторів обмежені витратами та складністю. Розроблено та перевірено методи та інформаційну технологію для інтелектуального навчального середовища й віртуальних експериментів на основі цифрових двійників. Систематичний огляд показав, що бар'єри безпеки, комунікації та адаптивності значною мірою долаються поєднанням відстеження дій, штучного інтелекту, тактильного зворотного зв'язку, розпізнавання мови та імерсивних інтерфейсів, тоді як брак довіри до роботів і етичні питання не вирішуються суто технологічно. Віртуальна та доповнена реальність забезпечують найвищий рівень занурення й найповніше представляють дані цифрового двійника, даючи змогу керувати від першої особи природними рухами. Розширена

реальність доповнює двокомпонентну модель цифрового двійника до трирівневої архітектури з рівнів реального світу, цифрового світу та інтерфейсів, дозводячи людині діяти у віртуальному середовищі над фізичним обладнанням через його цифрове представлення. Доступніше VR-обладнання підвищує доступність, а віртуальний світ надає підказки, недоступні в реальності, роблячи навчання безпечнішим. Виявлено три прогалини: обмеження наявних методів калібрування робочих просторів у кількох системах моніторингу; відсутність універсальної моделі даних кінематики роботів, що змушує розробляти власні рішення для кожного нового типу робота; стандарти безпеки, які ігнорують людські фактори, вирішальні в людиноорієнтованих системах. Архітектуру реалізовано в інформаційній технології керування взаємодією людини та робота через VR-інтегрований цифровий двійник. Рівень реального світу містить фізичний двійник і обладнання моніторингу; рівень цифрового світу – ядро цифрового двійника як посередник даних, засоби моделювання, аналізу та прийняття рішень і базу даних; рівень інтерфейсів – імерсивний VR-інтерфейс, інтерфейс наглядача та панель керування. Технологію формалізовано функціональною декомпозицією та діаграмами потоків даних і IDEF0, що забезпечує двосторонні потоки даних. Універсальну модель даних кінематики промислових роботів розроблено методом Денавіта-Гартенберга. Її схема бази даних зберігає дані роботів з довільною кількістю шарнірів і ступенів свободи в єдиній структурі, утримуючи для кожної контрольної точки змінні параметри з очікуваними й фактичними значеннями для виявлення аномалій. Розроблено та перевірено метод просторового узгодження систем координат кількох пристроїв: вісь обертання робота слугує механічною опорою для обчислення матриць жорсткого перетворення між системами координат оптичного трекінгу та гарнітури за даними внутрішніх датчиків. Перевірка з роботом Sawyer Black Edition, оптичною системою ART і гарнітурою Meta Quest Pro дала точність, що лежить у межах похибки обладнання. Реалізовано метод динамічної адаптації зон безпеки до емоційного стану оператора. Стан визначається за даними трекінгу очей за допомогою моделі, навченої на наборі VREED. Сервіс отримує положення шарнірів робота, положення тіла оператора та згладжений стан каналом WebSocket і публікує коефіцієнт адаптації зон. Зони розширюються при виявленні негативного стану, підвищуючи комфорт і відчуття безпеки, і залишаються базовими, коли оператор спокійний. Ефективність інформаційної технології оцінено в контрольованому експерименті з навчання 30 учасників у трьох групах: «Real» (фізичний робот), «VR» та «VR+» (VR із візуальними підказками). Після трьох навчальних прогонів кожна група виконала контрольний прогін на фізичному роботі з фіксацією часу, натискань кнопок, рухів джойстиком і помилок. Траєкторії навчання відрізнялися, але контрольний прогін не показав значущих відмінностей за жодним показником; додаткові підказки покращували навчання, але створювали залежність, що обмежувала перенесення результатів після їх вимкнення. Суб'єктивні оцінки (NASA TLX, опитувальники User Experience і Presence) також не виявили відмінностей, підтвердивши перенесення навчання у VR на фізичне обладнання. Результати подано як методи й моделі, реалізовані в інформаційній технології, що забезпечує взаємодію людини та робота у VR-інтегрованому середовищі цифрових двійників. Доступність підвищено модульною еталонною архітектурою, придатною для систем різної складності, безпеку – перенесенням взаємодії у віртуальний світ і збиранням більшої кількості даних про середовище та стан людини.

2. The dissertation addresses the problem of improving the efficiency, safety, and accessibility of Human-Robot Interaction in the transition to a human-oriented paradigm, where the productivity of cyber-physical systems must be reconciled with human well-being and physical and emotional safety, while research and training remain constrained by cost and complexity. Methods, models, and an information technology for an intelligent learning environment and virtual experiments based on digital twins were developed and validated. A systematic review showed that safety, communication, and adaptability barriers can largely be overcome by combining action tracking, artificial intelligence, haptic feedback, speech recognition, and immersive interfaces, whereas the lack of trust in robots and ethical issues cannot be solved by technology alone. Virtual and augmented reality provide the highest immersion and represent a digital twin's data most completely, enabling first-person control through natural movements. Extended Reality expands the two-component digital twin model into a three-layer architecture of Real World, Digital World, and Interfaces layers, letting the human act in a virtual environment on physical equipment through its digital representation. Affordable VR equipment improves accessibility, while the

virtual world provides cues unavailable in reality, making training safer. Three gaps were identified: limitations of existing methods for calibrating workspaces across several monitoring systems; the absence of a universal data model for robot kinematics, which forces custom solutions for each new robot type; and safety standards that ignore human factors, decisive in human-centred systems. The architecture was implemented as an information technology managing human-robot interaction via a VR-integrated digital twin. The Real World layer contains the physical twin and monitoring equipment; the Digital World layer the Digital Twin Core as a data broker, simulation, analysis and decision-making tools, and the database; the Interfaces layer the immersive VR interface, the supervisor interface, and the control panel. It was formalised through functional decomposition and Data Flow and IDEF0 diagrams, ensuring bidirectional data flows and human-centred design. A universal data model for industrial robot kinematics was developed using the Denavit-Hartenberg method. Its database schema stores data for robots with arbitrary numbers of joints and degrees of freedom in one unified structure, keeping for each checkpoint the variable parameters with expected and actual values for anomaly detection. A method for spatial registration of multiple devices' coordinate systems was developed and validated: the robot's axis of rotation serves as a mechanical pivot anchor for computing rigid transformation matrices between the ground truth and HMD coordinate systems from internal sensor data. Validation with the Sawyer Black Edition robot, the ART optical tracking system, and the Meta Quest Pro headset gave positional accuracy within the equipment's margin of error. A method for dynamically adjusting safety zones to the operator's emotional state was implemented. The state is derived from eye-tracking data by a model trained on the VREED dataset. The service receives joint positions, operator body position, and the smoothed state over WebSocket and publishes a zone adjustment factor. Zones expand when a negative state is detected, increasing comfort and the sense of safety, and remain at baseline when the operator is calm. Effectiveness was evaluated in a controlled training experiment with 30 participants in three groups: "Real" (physical robot), "VR", and "VR+" (VR with visual cues). After three training runs each group performed a control run on the physical robot, with time, button and joystick inputs, and mistakes recorded. Learning trajectories differed, but the control run showed no significant differences in any metric; additional cues improved training yet created a dependency that limited transfer once removed. Subjective measures (NASA TLX, User Experience and Presence questionnaires) also showed no differences, confirming that VR training transfers to physical equipment. The results are methods and models implemented in an information technology enabling Human-Robot Interaction in a VR-integrated digital twin environment. Accessibility is improved by the modular reference architecture applicable to systems of varying complexity, safety by moving interaction into the virtual world and collecting more data on the environment and the human state.

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:

- Palazhchenko Y., Shendryk V. Multi-device coordinate system calibration method for digital twin systems. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences. 2026. № 1. P. 269–285. DOI: 10.32782/tnv-tech.2026.2.1.27
- Palazhchenko Y., Shendryk V., Meyer G. Development of a complex solution for a human-robot interaction and operators training using VR-integrated DT framework. Technology Audit and Production Reserves. 2026. № 1 (2(87)). P. 11–17. DOI: 10.15587/2706-5448.2026.352356
- Palazhchenko Y. V., Shendryk V. V. Digital twin data storage for industrial robot kinematics. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences. 2024. 4. P. 111–118 DOI: 10.32782/tnv-tech.2024.4.10

- Palazhchenko Y., Shendryk V., Shendryk S. Digital Twins Data Visualization Methods. Problems of Human Interaction: A Review. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. 687 LNNS. С. 478–485 DOI: 10.1007/978-3-031-310669_53
- Palazhchenko Y., Shendryk V., Ivanov V., Hatala M. Industry 5.0: Aspects of Collaboration Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2024. Р. 609–617 DOI: 10.1007/978-3-031-38165-2_71
- Палажченко, Є. В. (2024). Людино-центричний інтерфейс у змішаній реальності для навчання операторів промислового обладнання. Міжнародна конференція молодих вчених «Інформатика, математика, автоматика» IMA 2024: тези доповідей (с. 243–244). Сумський державний університет
- Palazhchenko, Y. (2026). Architecting interactive digital twins for human-robot interaction. International Conference of Young Scientists “Informatics, Mathematics, Automation” IMA-2026: Abstracts (p. 361). Sumy State University

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

Соціально-економічна спрямованість: підвищення продуктивності праці; підвищення автоматизації виробничих процесів; забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0123U101852 0126U000866

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шендрік Віра Вікторівна
2. Vira Shendryk

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.05.17

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8325-3115

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Меєр Георг __
2. Georg Meyer

Кваліфікація: д.філософ, професор, 27.00.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3739-1653

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Ліверпульський університет

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження: Foundation Building, Ліверпуль, L69 7ZX, Велика Британія

Форма власності: Державна

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: 04xs57h96

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Плюгін Владислав Євгенович

2. Vladyslav Pliuhin

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.09.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4056-9771

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Код за ЄДРПОУ: 02071151

Місцезнаходження: вул. Чорноглазівська, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гончаренко Тетяна Андріївна

2. Tetiana Honcharenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2577-6916

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет будівництва і архітектури

Код за ЄДРПОУ: 02070909

Місцезнаходження: проспект Повітряних сил, Київ, 03037, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Чибіряк Яна Іванівна

2. Yana Chybiriak

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.02.08

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0634-7609

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бойко Ольга Василівна

2. Olha Boiko

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8557-2267

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові

голови ради

Павленко Іван Володимирович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Павленко Іван Володимирович

Відповідальний за підготовку
облікових документів

Бойко Антон Олександрович

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна