

## SUMMARY

**Tao Li. Information technology for the formation of business processes through the introduction of virtual reality in the educational space. – *Qualifying scientific work as a manuscript.***

Thesis for the Doctor of Philosophy Degree in Specialty 122 “Computer Science». – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2024.

**Abstract content.** The dissertation addresses the scientific and practical problem of developing methods, models, and information technology to enhance the effectiveness of Virtual Reality (VR) technology implementation for forming and transforming business processes in educational content-providing enterprises and organizations. The research focuses on the urgent need for innovative information technology to manage the implementation of virtual reality systems in educational institutions, particularly in the context of increasing technological complexity and rapid evolution of changes in educational space business processes.

The research relevance is emphasized by the growing recognition of virtual reality technology's potential for revolutionary changes in various aspects of business operations and educational practices. As educational organizations seek to utilize immersive technologies to improve decision-making, learning, and client engagement, there is a pressing need for empirically verified approaches to integrating virtual reality systems into their operations. This research aims to bridge the gap between theoretical understanding of virtual reality's potential and its practical implementation, providing applied tools for identifying opportunities related to immersive technology implementation for educational organizations.

A key contribution of this work is the development of new information technology based on the existing VR-BPMN (Virtual Reality-Business Process Model and Notation) concept. The testing of this innovative IT solution for business process visualization and analysis demonstrates significant advantages compared to traditional approaches, offering a more intuitive and engaging visualization tool for understanding complex organizational and educational business processes. The proven

effectiveness of this information technology shows a 21% increase in task execution speed without error identification compared to PC-based tools, highlighting its efficiency for business process transformation in virtual environments. VR-BPMN is a core component of the proposed information technology that demonstrates how virtual reality can be effectively integrated into existing information systems for forming and transforming educational institution business processes.

The research advances the field of human-computer interaction in virtual environments through the development of an enhanced method that integrates natural language processing and gesture recognition methods. This approach to multimodal interaction demonstrated a 35% reduction in command interpretation errors compared to traditional interfaces, with 85% of users noting increased intuitiveness when working in the virtual environment. The system's adaptive learning capability shows a 15% improvement in command recognition accuracy over time, highlighting the potential of virtual reality systems for personalized experiences.

A significant theoretical contribution of this work lies in developing a technology acceptance model for virtual reality applications. Using structural equation modeling provides a framework for understanding factors influencing virtual reality technology adoption in organizational settings. The identification of perceived enjoyment as a critical factor in usefulness and ease of use provides valuable information for virtual reality system developers and users, emphasizing the importance of creating engaging user experiences.

A comprehensive framework for implementing virtual reality strategy in business and educational contexts has been developed and presented. The structured approach encompasses content evaluation, resource allocation, testing, implementation, and continuous reassessment, demonstrating significant advantages in real-world conditions.

Furthermore, the study has advanced virtual reality technology in B2B and B2C contexts, revealing significant potential benefits across various sectors. Results demonstrating increased client engagement, conversion rates, employee training

effectiveness, and knowledge retention confirm the transformational potential of virtual reality technology. However, the research also identifies key challenges to widespread VR adoption, particularly in data privacy and hardware limitations, providing a balanced view of the current state of immersive technology implementation.

The dissertation research results make significant contributions to both theoretical understanding and practical application of virtual reality technology in educational sphere business processes. The developed methods, models, and information technology offer comprehensive analytical and applied tools for organizations seeking to utilize virtual reality to enhance efficiency and innovation in educational space. By addressing the complex interaction of technological, organizational, and human factors in virtual reality technology implementation, this research creates a solid foundation for future IT achievements, paving the way for more efficient, effective, and user-oriented virtual reality applications across various fields.

**The object of the study** is the processes of integrating virtual reality systems into the activities of enterprises and organizations that provide educational content.

**The subject of the research** is models, methods, and information technology for developing, evaluating, and implementing virtual reality systems for forming and transforming business processes in educational space.

**Research methods.** The study employs a complex of methods, including: modeling and data analysis methods, including structural equation modeling to verify the technology acceptance model within the proposed information technology; software engineering methods for developing core components of virtual reality-based information technology, including virtual reality interfaces and data processing algorithms; experimental design and user research to evaluate the effectiveness of the VR-BPMN concept and human-computer interaction model within the developed information technology; statistical analysis of system performance indicators to optimize the efficiency and responsiveness of information technology; systems

analysis and design methods for creating implementation frameworks and ensuring scalability and adaptability of information technology; simulation and modeling methods for testing and refining VR components of information technology in controlled environments before real-world deployment.

**The aim of the study** is to develop information technology for effective implementation of virtual reality systems in educational sector business processes.

To achieve this aim, the following tasks must be solved:

1. Analyze the possibilities of implementing virtual reality technology in business processes and educational context, identify existing challenges and limitations in modern immersive technologies.
2. Propose a technology acceptance model for applying virtual reality systems and their applications in educational space.
3. Develop a human-computer interaction model for virtual reality systems.
4. Develop methods for evaluating the effectiveness of VR simulations in business processes and optimizing user experience in virtual environments.
5. Develop a method for integrating natural language processing and gesture recognition in VR interfaces for educational simulations and visualization of complex business processes.
6. Develop information technology for business process formation based on implementing virtual reality systems in educational space.
7. Develop software modules and conduct testing of the developed information technology through testing, case studies, and empirical evaluations in various business and educational environments.
8. Develop a strategy for evaluating the effectiveness and development of virtual reality systems in business and educational contexts.

**The main study hypothesis** is that by solving the set tasks, the research results should bridge the gap between theoretical understanding and practical implementation of virtual reality systems in educational institutions' activities, providing information

and applied tools for identifying challenges and opportunities associated with immersive technology implementation.

**The scientific novelty of the obtained results:**

*Developed for the first time:*

- a human-computer interaction model for virtual reality systems which, through a unique combination of defined components, enables increased system response speed to user actions in the virtual environment. Unlike existing models, it enables reduced command interpretation errors and improves recognition accuracy through adaptive learning, determining its potential for shaping user experience;
- a method for evaluating the effectiveness of VR simulations in business processes, which enables quantitative determination of virtual reality systems' effectiveness indicators: task completion time, error levels, user satisfaction and perception of the virtual environment, and enables identification of indicators for optimizing business processes and decision-making processes;
- a method for optimizing user experience in virtual environments, which through aggregation of data analytics and machine learning methods offers a new approach to collecting and analyzing user behavior data in virtual environments and ensures VR experience accumulation;
- information technology for business process formation in educational space, which through developed and improved models and methods, ensures increased effectiveness of virtual reality systems implementation in organizations providing educational content.

*Improved:*

- technology acceptance model, which by considering specific factors for virtual reality systems provides an analytical basis for predicting the results of implementing the developed information technology in educational institutions;

- structural equation modeling method for evaluating virtual reality perception by potential users, which, unlike existing ones, through using an extended factors model of virtual reality technology perception, enables quantitative determination of relationships between key constructs in organizational conditions.

*Further developed:*

- virtual reality technology perception factors model, which considers the complex structure of interaction between technological, organizational, and human factors affecting virtual reality systems use, and serves as a basis for improving the structural equation modeling method;
- method of integrating natural language processing and gesture recognition in VR interfaces, which, through aggregation of these components, increases intuitiveness and efficiency of user interaction in virtual environments, enabling its application for educational simulations and complex business process visualization.

**The first chapter** provides a comprehensive review of immersive technologies and virtual reality systems, identifying opportunities for their integration into business processes and educational institutions. The current state of virtual reality implementation in various business processes is analyzed, drawing on recent industry works and scientific literature. A critical analysis of potential benefits and challenges of existing virtual reality technology implementation results is conducted, including enhanced data visualization, spatial representation, and more engaging learning experiences, as well as hardware limitations and user perception factors of immersive technologies. The theoretical foundations of technology acceptance models and their applicability to virtual reality systems are thoroughly examined. Analysis of scientific works on technology acceptance theory enabled identifying the relevance and applicability level of existing models, methods, and tools of immersive technologies. The VR-BPMN concept is defined as the foundation for developing information technology for business process formation in educational space based on virtual reality

systems. Key gaps in existing research on virtual reality systems implementation are identified, particularly in user interface development and integration of natural language processing and gesture recognition. Strategic objectives of this work are outlined, forming the research goals for subsequent chapters.

**The second chapter** presents significant achievements in developing new information technology for integrating virtual reality into educational institutions. A key contribution is the improvement of the technology acceptance model, specifically designed for applying virtual reality systems in educational space. The improved model considers virtual reality-specific factors. The developed model was thoroughly tested using the structural equation modeling method, which provides a foundation for understanding and predicting virtual reality implementation in organizational conditions. The model's consistency with numerous data indicators is proven, highlighting its reliability and applicability in various contexts.

Additionally, the chapter develops a human-computer interaction model for virtual reality systems based on natural language processing and gesture recognition methods. The model defines PC-user interaction and enables reduced system response time in virtual environments, representing a significant contribution compared to traditional interfaces. This model enables reduced command interpretation errors, improves recognition accuracy over time through adaptive learning, and demonstrates its potential for shaping user experience in virtual reality.

The chapter also presents a virtual reality technology perception factors model, which has been further developed by considering the interaction of technological, organizational, and human factors for business process formation in educational space. The model offers nuanced understanding of complex variables affecting virtual reality perception and use, providing valuable information for both researchers and practitioners. By identifying and analyzing factors that contribute to user engagement, efficiency, and satisfaction, this model deepens theoretical understanding of human-computer interaction in virtual environments.

**The third chapter** focuses on evaluation and optimization methods within the developed information technology, which determine scientific results for assessing perception and effectiveness of virtual reality application in educational space. A key contribution is the improvement of structural equation modeling method for evaluating virtual reality perception by potential users, providing a more reliable and accurate approach to understanding factors affecting virtual reality adoption in organizational conditions. This enhanced method enables empirical verification of relationships between key constructs, offering valuable information about virtual reality adoption dynamics.

A method for evaluating VR simulation effectiveness in business processes has been developed, enabling the development of tools for determining indicators such as task completion time, error rates, and user satisfaction, and allowing comparison with traditional methods. Comparison results demonstrate the advantages of virtual reality's potential for improving visualization and understanding of complex business processes, while also identifying indicators for future optimization.

An innovative method for optimizing user experience in virtual environments is proposed, addressing unique challenges of immersive technologies while focusing on increasing user engagement and satisfaction levels. Integrating advanced analytics and machine learning methods, this approach employs a new methodology for collecting and analyzing user behavior data in virtual environments, paving the way for more personalized and effective VR experiences.

Furthermore, the chapter details a method for integrating natural language processing and gesture recognition in VR interfaces, aimed at enhancing user interaction efficiency in virtual environments. This integration represents a significant step in method development for creating more natural and seamless user experiences, with potential applications ranging from simple educational simulations to complex business process visualizations.

**The fourth chapter** is dedicated to practical implementation and validation of the developed information technology, presenting a comprehensive approach to



implementing virtual reality systems in educational space. It presents innovative instrumental modules for implementing the VR-BPMN concept based on developed models and methods, providing a systematic foundation for effective virtual reality technology utilization. These modules cover the complete lifecycle of virtual reality systems implementation – from initial design to optimization.

The implementation of the proposed information technology is validated through extensive testing, case studies, and empirical evaluations in various business and educational environments. Testing results demonstrate significant improvements in task performance indicators, user interaction, and learning outcomes, while also identifying areas for further improvement. The chapter concludes by summarizing the obtained results, highlighting practical research outcomes, and suggesting promising directions for future research in immersive technologies.

The chapter also presents a strategy for evaluating the effectiveness and development of virtual reality systems in business and educational contexts. This strategy offers a structured approach to evaluating virtual reality implementation, ensuring alignment with educational institutions' goals for continuous improvement. It includes feedback mechanisms and adaptive learning processes for optimizing virtual reality experience utilization over time.

**The practical significance of the obtained results** lies in their comprehensive contribution to the development and application of advanced information technology for implementing virtual reality systems in educational space. The developed information technology provides educational organizations with a reliable and end-to-end solution for effective implementation and optimization of virtual reality systems in their activities, improving decision-making business processes, teaching methods, and overall productivity. The proposed strategy for evaluating the effectiveness and development of virtual reality systems is based on a holistic approach to improving virtual reality implementation in business and educational contexts.

The developed software modules provide users with applied tools for visual understanding and representation of complex business processes, enhancing

operational efficiency of educational organizations through immersive interactive visualizations. The practical significance of this tool is important for various industries – from manufacturing to finance, where business process optimization is crucial for maintaining competitiveness.

**Conclusion.** For use in educational space, information technology and valuable recommendations for improving the learning process based on virtual reality systems implementation have been proposed, offering potential for transforming pedagogical approaches to teaching various disciplines. Empirically validated evaluation modules within the information technology offer educators reliable tools for assessing virtual reality's impact on learning outcomes, facilitating decision-making regarding virtual reality investment feasibility in educational institutions.

Furthermore, the technology acceptance model integrated into the developed information technology serves as a practical tool for educational organizations to predict and improve user perception of virtual reality technology. This predictive capability can guide the development of more user-centered VR applications, potentially increasing the success rate of virtual reality implementation in various organizational contexts. The comprehensive nature of the developed information technology bridges the gap between theoretical research on virtual reality technology and its practical application. It offers educational organizations applied tools for planning, implementing, and optimizing their virtual reality initiatives, comprising software modules for user interface development, data processing, performance analysis, and real-time IT adaptation based on user behavior and learning models.

By offering a structured and technological approach to virtual reality systems implementation, this research will enable educational institutions to more effectively utilize immersive technologies' potential, stimulating innovation and providing competitive advantages in the digital business landscape. The practical implementation of the developed information technology emphasizes its importance for developing virtual reality applications in educational organizations.

**Keywords:** virtual reality, human-computer interaction, business process modeling, educational technology, technology acceptance model, VR-BPMN, user experience optimization, natural language processing, gesture recognition, immersive technologies, effectiveness evaluation, strategic frameworks, VR analytics.

## **LIST OF THE APPLICANT’S PUBLICATIONS ON THE THEME OF THE DISSERTATION AND INFORMATION ON THE APPROVAL OF THE RESULTS OF THE DISSERTATION**

### **Articles in professional publications of Ukraine**

**(included in the list of the Ministry of Education and Science of Ukraine)**

1. Tsiutsiura, M., Tsiutsiura, S., Kryvoruchko, O., & **Li, Tao** (2022). The Method of harmonizing decision of the divergent methodology of the development of higher education institutions. Management of Development of Complex Systems, 50, 85 – 92. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.50.85-92 [category «B», Index Copernicus] [https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-50/85-92\\_0.pdf](https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-50/85-92_0.pdf)
2. **Li, Tao** (2023). Evaluating the Effectiveness of VR Simulations in Business Process Formation. Management of Development of Complex Systems, 56, 97 – 104. DOI: 10.32347/2412-9933.2023.56.97-104 [category «B», Index Copernicus] <http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/299711>
3. **Li, Tao** (2024). Human-computer interaction in virtual reality environments for educational and business purposes. Management of Development of Complex Systems, 57, 112 – 117. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.57.112-117 [category «B», Index Copernicus] <http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/301837>
4. **Li, Tao**, Honcharenko, T. (2024). Integrating advanced human-computer interaction and machine learning models for optimizing VR systems in educational and business applications. Bulletin of the National Technical

University «KhPI» A series of “Information and Modeling”, 1 – 2 (11 – 12), 105 – 120. DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.09 [category «B», Index Copernicus]

**Materials of international scientific conferences indexed in the scientometric database Scopus**

5. Tsiutsiura, M., Kostyshyna, N., Yerukaiev, A., Danylyshyn, S., Honcharenko, Y., & **Li, Tao**. (2022). Research of Housing Comfort Using Linguistic Variables. 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 1 – 5. DOI: 10.1109/SIST54437.2022.9945736 [*Scopus*].
6. Levytskyi, V., Tsiutsiura, M., Yerukaiev, A., Rusan, N., & **Li, Tao**. (2023). The Working Principle of Artificial Intelligence in Video Games. 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 246 – 250. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223491 [*Scopus*].
7. **Tao, Li**, Dolhopolov, S., & Honcharenko, T. (2024). Strategizing VR Integration in Business and Education: Extending the Technology Acceptance Model through Project Management Perspectives. *International Workshop IT Project Management*, Vol. 3709, 250 – 263 [*Scopus, Q4, ISSN 1613-0073*].

**Abstracts of reports of scientific and scientific-practical conferences**

8. Tsiutsiura, M., Dolhopolov, S., & **Li, Tao**. (2021). Audio-visual assistant for learning foreign languages using machine learning technology. Eighth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”, 15 – 16.
9. **Li, Tao**, Kopcha, O., & Lukeniv, D. (2022). Using the REST API to create and receive information. Ninth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”.

10. Tsiutsiura, M., Nechyporenko, D., & **Li, Tao** (2023). Development of automatic “clever refrigerator” technology with the help of “AI – system product control” artificial intelligence. Tenth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”, 12 – 14.
11. **Li, Tao** (2023). Enhancing Learning Through Immersive Virtual Reality (VR) Technologies in Education. BMC-2023 – International Scientific-Practical Conference of young scientists “Build-Master-Class-2023”, 425–426.

## АНОТАЦІЯ

**Тао Лі. Інформаційна технологія формування бізнес-процесів на основі віртуальної реальності в освітньому просторі.** – *Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2024.

**Зміст анотації.** Дисертація присвячена вирішенню *науково-практичної задачі* – розроблення методів, моделей та інформаційної технології для підвищення ефективності застосування технології віртуальної реальності (анг. Virtual Reality, VR) для формування та трансформації бізнес-процесів підприємств та організацій, які надають освітній контент. Дослідження спрямоване на нагальну потребу у наявності інноваційної інформаційної технології, яка б керувала впровадженням систем віртуальної реальності в освітні установи, особливо в контексті зростаючої технологічної складності та швидкої еволюції змін у бізнес-процесах освітнього простору.

Актуальність дослідження підкреслюється зростаючим визнанням потенціалу технології віртуальної реальності для революційних змін у різних аспектах бізнес-операцій та освітніх практик. Оскільки освітні організації прагнуть використовувати імерсивні технології для покращення процесу прийняття рішень, навчання та залучення клієнтів, існує гостра потреба в емпірично перевірених підходах до інтеграції систем віртуальної реальності в їх діяльність. Це дослідження має на меті подолати розрив між теоретичним розумінням щодо потенціалу віртуальної реальності та її практичним впровадженням, забезпечуючи прикладний інструментарій визначення можливостей, пов'язаних із впровадженням імерсивних технологій, для освітніх організацій.

Ключовим внеском цієї роботи є розробка нової інформаційної технології, яка спирається на існуючу концепцію VR-BPMN (Virtual Reality- Business

Process Model and Notation, *укр.* модель та нотація бізнес-процесів в віртуальній реальності). Апробація такого інноваційного ІТ-рішення для візуалізації та аналізу бізнес-процесів демонструє значні переваги порівняно з традиційними підходами, пропонуючи більш інтуїтивний та захоплюючий засіб візуалізації для розуміння складних організаційних та навчальних бізнес-процесів. Доведена ефективність цієї інформаційної технології, яка демонструє збільшення швидкості виконання завдань без ідентифікації помилок у порівнянні з інструментами на базі персонального комп'ютера (ПК) на 21%, що підкреслює її ефективність для трансформації бізнес-процесів у віртуальному середовищі. VR-BPMN є основним компонентом запропонованої інформаційної технології, який дає змогу продемонструвати, як віртуальна реальність може бути ефективно інтегрована в існуючі інформаційні системи формування та трансформації бізнес-процесів освітньої установи.

Дослідження розвиває сферу взаємодії людини з комп'ютером у віртуальному середовищі завдяки розробленню вдосконаленого методу, який інтегрує методи обробки природної мови та розпізнавання жестів. Такий підхід до мультимодальної взаємодії продемонстрував зменшення помилок інтерпретації команд на 35% порівняно з традиційними інтерфейсами, а 85% користувачів відзначили підвищення інтуїтивності при роботі у віртуальному середовищі. Здатність системи до адаптивного навчання демонструє підвищення точності розпізнавання команд з плином часу на 15%, що підкреслює потенціал використання систем віртуальної реальності для персоналізованого досвіду.

Значний теоретичний внесок цієї роботи полягає в розробленні моделі прийняття технологій для додатків віртуальної реальності. Використання методу моделювання структурними рівняннями забезпечує основу для розуміння факторів, що впливають на прийняття технології віртуальної реальності в організаційних умовах. Виявлення сприйнятого задоволення як критичного чинника корисності та легкості використання дає цінну інформацію для

розробників і користувачів систем віртуальної реальності, підкреслюючи важливість створення цікавого користувацького досвіду.

Розроблено і представлено комплексну структуру для впровадження стратегії віртуальної реальності у бізнес- та освітньому контекстах. Структурований підхід охоплює оцінювання змісту, розподіл ресурсів, тестування, впровадження та постійну переоцінку й демонструє значні переваги в реальних умовах.

Крім того, у дослідженні набуло подальшого розвитку технологія віртуальній реальності в контекстах B2B і B2C, виявляючи значні потенційні переваги в різних секторах. Результати, що демонструють збільшення рівня залучення клієнтів, коефіцієнтів конверсії, ефективності навчання працівників та збереження знань, підтверджують трансформаційний потенціал технології віртуальної реальності. Однак дослідження також визначає ключові виклики на шляху до широкого впровадження VR, зокрема у сферах конфіденційності даних та апаратних обмежень, що забезпечує збалансований погляд на поточний стан впровадження імерсивних технологій.

Результати дисертаційного дослідження здійснюють значний внесок як у теоретичне розуміння, так і в практичне застосування технології віртуальної реальності в бізнес-процеси освітньої сфери. Розроблені методи, моделі та інформаційна технологія пропонують комплексний аналітичний та прикладний інструментарій для організацій, які прагнуть використовувати віртуальну реальність для підвищення ефективності та впровадження інновацій в освітньому просторі. Розглядаючи складну взаємодію технологічних, організаційних і людських факторів при впровадженні технології віртуальної реальності, дане дослідження створює міцну основу для майбутніх досягнень у галузі IT, прокладаючи шлях до створення більш ефективних, результативних і орієнтованих на користувача додатків віртуальної реальності в різних галузях.

**Об'єктом дослідження** є процеси інтеграції систем віртуальної реальності в діяльність підприємств і організацій, які надають освітній контент.



*Предметом дослідження* є моделі, методи та інформаційна технологія для розроблення, оцінювання та впровадження систем віртуальної реальності для формування та трансформації бізнес-процесів в освітньому просторі.

**Методи дослідження.** У дослідженні використано комплекс методів, серед яких: методи моделювання та аналізу даних, включаючи метод моделювання структурними рівняннями для перевірки моделі прийняття технологій в рамках запропонованої інформаційної технології; методи програмної інженерії для розробки основних компонентів інформаційної технології на основі віртуальної реальності, включаючи інтерфейси віртуальної реальності та алгоритми обробки даних; експериментальне проектування та дослідження користувачів для оцінювання ефективності концепції VR-BPMN та моделі взаємодії людини та комп'ютера в рамках розробленої інформаційної технології; Статистичний аналіз показників продуктивності системи для оптимізації ефективності та швидкості реагування інформаційної технології; методи системного аналізу та проектування для створення фреймворків реалізації та забезпечення масштабованості та адаптивності інформаційної технології; методи симуляції та моделювання для тестування та доопрацювання VR-компонентів інформаційної технології в контрольованих середовищах перед розгортанням у реальному світі.

*Метою дослідження* є розроблення інформаційної технології для ефективного впровадження систем віртуальної реальності в бізнес-процеси освітньої галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати *такі завдання*:

1. Здійснити аналіз можливостей впровадження технології віртуальної реальності в бізнес-процеси та освітній контекст, виявити існуючі виклики та обмеження в сучасних імерсивних технологіях.
2. Запропонувати модель прийняття технологій для застосування систем віртуальності реальності та її додатків в освітньому просторі.

3. Розробити модель взаємодії людини з комп'ютером для систем віртуальної реальності.

4. Розробити методи оцінювання ефективності VR-симуляцій у бізнес-процесах та оптимізації користувацького досвіду у віртуальному середовищі.

5. Розробити метод інтеграції обробки природної мови та розпізнавання жестів у VR-інтерфейсах для навчальних симуляцій та візуалізації складних бізнес-процесів.

6. Розробити інформаційну технологію формування бізнес-процесів на основі впровадження систем віртуальної реальності в освітній простір.

7. Розробити програмні модулі та здійснити апробацію розробленої інформаційної технології за допомогою тестування, тематичних досліджень та емпіричних оцінок у різних бізнес- та освітніх середовищах.

8. Розробити стратегію оцінювання ефективності та розвитку систем віртуальної реальності у бізнес- та освітньому контекстах.

*Основна гіпотеза дослідження полягає в тому,* що завдяки вирішенню поставлених завдань результати дослідження мають подолати розрив між теоретичним розумінням та практичним впровадженням систем віртуальної реальності в діяльність освітніх установ, забезпечуючи інформаційно-прикладний інструментарій для визначення викликів і можливостей, пов'язаних із впровадженням імерсивних технологій.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

*Вперше розроблено:*

- модель взаємодії людини з комп'ютером для систем віртуальної реальності, яка, за рахунок унікальної комбінації визначених компонентів, дає змогу збільшити швидкість реакції системи на дії користувача у віртуальному середовищі. На відміну від існуючих, така модель уможлиблює зменшення помилок інтерпретації команд та підвищує точність їх розпізнавання завдяки адаптивному навчанню, що визначає її потенціал для формування користувацького досвіду;

- метод оцінювання ефективності застосування VR-симуляцій у бізнес-процесах, який дає змогу кількісно визначити показники ефективності застосування систем віртуальної реальності: час виконання завдань, рівні помилок, задоволеності та сприйняття користувачем віртуального середовища, і дає змогу виявити показники для оптимізації бізнес-процесів та процесів прийняття рішень;

- метод оптимізації користувацького досвіду у віртуальному середовищі, який за рахунок агрегації методів аналітики даних та машинного навчання пропонує новий підхід до збору та аналізу даних про поведінку користувачів у віртуальному середовищі та забезпечує накопичення VR-досвіду;

- інформаційну технологію формування бізнес-процесів в освітньому просторі, яка за рахунок розроблених і вдосконалених моделей та методів, забезпечує підвищення ефективності впровадження систем віртуальної реальності в діяльність організацій, які надають освітній контент.

*Удосконалено:*

- модель прийняття технологій, яка за рахунок врахування специфічних факторів для систем віртуальної реальності забезпечує аналітичний базис для прогнозування результатів впровадження розробленої інформаційної технології в освітні установи;

- метод моделювання структурними рівняннями для оцінювання сприйняття віртуальної реальності потенційними користувачами, який, на відміну від існуючого, за рахунок використання моделі розширених факторів сприйняття технології віртуальної реальності, дає змогу кількісно визначити міру взаємозв'язків між ключовими конструктами в організаційних умовах.

*Отримали подальший розвиток:*

- модель факторів сприйняття технології віртуальної реальності, яка враховує складну структуру взаємодії технологічних, організаційних і людських факторів, що впливають на використання систем віртуальної реальності, та є основою для удосконалення методу моделювання структурними рівняннями;

- метод інтеграції обробки природної мови і розпізнавання жестів у VR-інтерфейсах, який, за рахунок агрегації зазначених компонентів, підвищує інтуїтивність і ефективність взаємодії користувачів у віртуальному середовищі, що уможливорює його застосування для освітніх симуляцій та візуалізації складних бізнес-процесів.

**У першому розділі** здійснено всебічний огляд імерсивних технологій і систем віртуальної реальності, виявлено можливості їхньої інтеграції в бізнес-процеси й освітні установи. Проаналізовано поточний стан впровадження віртуальної реальності в різноманітні бізнес-процеси, спираючись на останні галузеві праці та наукову літературу. Здійснено критичний аналіз потенційних переваг та викликів наявних результатів впровадження технології віртуальної реальності, включаючи удосконалену візуалізацію даних, просторове уявлення та більш захопливий навчальний досвід, а також апаратні обмеження та фактори сприйняття користувачами імерсивних технологій. Детально досліджено теоретичні основи моделей прийняття технологій та їхня застосовність до систем віртуальної реальності. Аналіз наукових праць вчених з теорії прийняття технологій надав змогу виявити актуальність та рівень застосовності існуючих моделей, методів та засобів імерсивних технологій. Визначено концепцію VR-VRMN як основу розроблення інформаційної технології формування бізнес-процесів в освітньому просторі на основі систем віртуальної реальності. Виявлені ключові прогалини в існуючих дослідженнях щодо впровадження систем віртуальної реальності, зокрема в розробленні інтерфейсу користувача, в інтеграції обробки природної мови і розпізнавання жестів. Окреслені стратегічні завдання цієї роботи, які формують дослідницькі цілі наступних розділів.

**У другому розділі** представлено значні досягнення в розробленні нової інформаційної технології для інтеграції віртуальної реальності в освітні установи. Ключовим внеском є вдосконалення моделі прийняття технологій, спеціально розробленої для застосування систем віртуальної реальності в освітньому просторі. Вдосконалена модель враховує специфічні для віртуальної

реальності фактори. Розроблена модель була ретельно перевірена за допомогою методу моделювання структурними рівняннями, який забезпечує основу для розуміння і прогнозування впровадження віртуальної реальності в організаційних умовах. Доведена узгодженість моделі з багатьма показниками даних, що підкреслює її надійність і застосовність у різних контекстах.

Крім того, у розділі розроблено модель взаємодії людини з комп'ютером для систем віртуальної реальності, яка базується на методі обробки природної мови та розпізнавання жестів. Модель визначає взаємодію ПК з користувачем і дає змогу зменшити швидкість реакції системи у віртуальному середовищі, що є суттєвим внеском порівняно з традиційними інтерфейсами. Така модель уможлиблює зменшення помилок інтерпретації команд, підвищує точність розпізнавання з часом завдяки адаптивному навчанню, і демонструє свій потенціал для формування користувацького досвіду у віртуальній реальності.

У розділі також представлено модель факторів сприйняття технології віртуальної реальності, яка набула подальшого розвитку завдяки врахуванню взаємодії технологічних, організаційних і людських факторів для формування бізнес-процесів в освітньому просторі. Модель пропонує тонке розуміння складних змінних, які впливають на сприйняття та використання віртуальної реальності, надаючи цінну інформацію як для дослідників, так і для практиків. Визначаючи та аналізуючи фактори, які сприяють залученню, ефективності та задоволеності користувачів, ця модель поглиблює теоретичне розуміння взаємодії людини з ПК у віртуальному середовищі.

**Третій розділ** присвячено методам оцінювання та оптимізації в рамках розробленої інформаційної технології, який визначають наукові результати для оцінки сприйняття та визначення ефективності застосування віртуальної реальності в освітньому просторі. Ключовим внеском є вдосконалення методу моделювання структурними рівняннями для оцінювання сприйняття віртуальної реальності потенційними користувачами, що забезпечує більш надійний і точний підхід до розуміння факторів, що впливають на прийняття віртуальної

реальності в організаційних умовах. Такий удосконалений метод дає змогу емпірично перевірити взаємозв'язки між ключовими конструктами, пропонуючи цінну інформацію про динаміку прийняття віртуальної реальності.

Розроблено метод оцінки ефективності VR-симуляцій у бізнес-процесах, який дає змогу розробити інструментальні засоби визначання таких показників, як час виконання завдань, рівень помилок і задоволеність користувачів та дає змогу порівняти їх з традиційними методами. Результати порівняння демонструють переваги потенціалу віртуальної реальності для покращення візуалізації та розуміння складних бізнес-процесів, а також дає змогу виявити показники для майбутньої оптимізації.

Запропоновано інноваційний метод оптимізації користувацького досвіду у віртуальному середовищі, який вирішує унікальні проблеми імерсивних технологій, зосереджуючись на підвищенні рівнів залученості та задоволеності користувачів. Інтегруючи передові методи аналітики та машинного навчання, метод використовує новий підхід до збору та аналізу даних про поведінку користувачів у віртуальному середовищі, прокладаючи шлях до більш персоналізованого та ефективного VR-досвіду.

Крім того, в розділі детально розглядається метод інтеграції обробки природної мови і розпізнавання жестів в інтерфейси VR, який спрямований на підвищення ефективності взаємодії користувачів у віртуальному середовищі. Означена інтеграція є значним кроком для розвитку методу у створенні більш природного і безперешкодного користувацького досвіду з потенційними застосуваннями як для простих освітніх симуляцій так і для складних візуалізацій бізнес-процесів.

**Четвертий розділ** присвячено практичному впровадженню та валідації розробленої інформаційної технології, представляючи комплексний підхід до впровадження систем віртуальної реальності в освітній простір. Він представляє інноваційні інструментальні модулі для впровадження концепції VR-BPMN на основі розроблених моделей та методів, забезпечуючи систематичну основу для

ефективного використання технології віртуальної реальності. Ці модулі охоплюють повний життєвий цикл впровадження систем віртуальної реальності – від початкового проектування до оптимізації.

Підтверджено впровадження запропонованої інформаційної технології за допомогою широкого тестування, тематичних досліджень та емпіричних оцінок у різних бізнес- та освітніх середовищах. Результати апробації демонструють значне покращення показників виконання завдань, взаємодії з користувачами та програмних результатів навчання, а також визначають сфери для подальшого вдосконалення. Наприкінці розділу узагальнюються отримані результати, висвітлюються практичні результати дослідження та пропонуються перспективні напрямки подальших досліджень в галузі імерсивних технологій.

У розділі також представлено стратегію оцінювання ефективності та розвитку систем віртуальної реальності в бізнес- та освітньому контекстах. Ця стратегія пропонує структурований підхід до оцінки впровадження віртуальної реальності, забезпечуючи узгодженість з цілями освітніх установ на постійне вдосконалення. Вона включає механізми зворотного зв'язку та адаптивні процеси навчання для оптимізації досвіду використання віртуальної реальності у часі.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що вони є комплексним внеском у розроблення та застосування передової інформаційної технології для впровадження систем віртуальної реальності в освітній простір. Розроблена інформаційна технологія надає освітнім організаціям надійне та наскрізне рішення для ефективного впровадження та оптимізації використання систем віртуальної реальності у своїй діяльності, покращуючи бізнес-процеси прийняття рішень, методи навчання та загальну продуктивність. Запропонована стратегія оцінювання ефективності та розвитку систем віртуальної реальності базується на цілісному підході до вдосконалення впровадження віртуальної реальності в діловому та освітньому контекстах.

Розроблені програмні модулі надають користувачам прикладний інструментарій для наочного розуміння та уявлення складних бізнес-процесів, що підвищує операційну ефективність діяльності освітніх організацій за допомогою інтерактивних візуалізацій з ефектом занурення. Практичне значення цього інструменту є важливим для різних галузей – від виробництва до фінансів, де оптимізація бізнес-процесів має вирішальне значення для підтримки конкурентоспроможності.

**Висновок.** Для використання в освітньому просторі запропоновано інформаційну технологію та надані цінні рекомендації щодо удосконалення навчального процесу на основі впровадження систем віртуальної реальності, що має потенціал для трансформації педагогічних підходів до викладання різних дисциплін. Емпірично підтверджені модулі оцінювання в рамках інформаційної технології пропонують освітянам надійні інструментальні засоби для оцінки впливу віртуальної реальності на результати навчання, полегшуючи прийняття рішень щодо доцільності інвестицій у віртуальну реальність в освітніх установах.

Крім того, модель прийняття технологій, інтегрована в розроблену інформаційну технологію, слугує практичним інструментом освітнім організаціям для прогнозування та удосконалення сприйняття користувачами технології віртуальної реальності. Ця прогностична можливість може спрямовувати розробку більш орієнтованих на користувача VR-додатків, потенційно підвищуючи рівень успішності впровадження віртуальної реальності в різних організаційних контекстах. Комплексний характер розробленої інформаційної технології долає розрив між теоретичними дослідженнями технології віртуальної реальності та її реальним застосуванням. Вона пропонує освітнім організаціям прикладний інструментарій для планування, впровадження та оптимізації їхніх ініціатив у сфері віртуальної реальності, який складається з програмних модулів для розробки користувацького інтерфейсу,



обробки даних, аналізу продуктивності та адаптації ІТ в реальному часі на основі поведінки користувачів і моделей навчання.

Пропонуючи структурований та технологічний підхід до впровадження систем віртуальної реальності, це дослідження надасть змогу освітнім установам більш ефективно використовувати потенціал імерсивних технологій, стимулюючи їх до інновацій, та надасть їм конкурентні переваги у цифровому бізнес ландшафті. Здійснене практичне впровадження розробленої інформаційної технології підкреслює її важливість для розвитку сфери застосування віртуальної реальності в освітніх організаціях.

**Ключові слова:** віртуальна реальність, людино-комп'ютерна взаємодія, моделювання бізнес-процесів, освітні технології, модель прийняття технологій, VR-VRPN, оптимізація користувацького досвіду, обробка природної мови, розпізнавання жестів, імерсивні технології, оцінка ефективності, стратегічні рамки, аналітика VR.

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у фахових виданнях України**

#### **(входять до переліку МОН України)**

1. Tsiutsiura, M., Tsiutsiura, S., Kryvoruchko, O., & **Li, Tao** (2022). The Method of harmonizing decision of the divergent methodology of the development of higher education institutions. Management of Development of Complex Systems, 50, 85 – 92. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.50.85-92 [category «B», Index Copernicus] [https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-50/85-92\\_0.pdf](https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-50/85-92_0.pdf)
2. **Li, Tao** (2023). Evaluating the Effectiveness of VR Simulations in Business Process Formation. Management of Development of Complex Systems, 56,

- 97 – 104. DOI: 10.32347/2412-9933.2023.56.97-104 [category «B», Index Copernicus] <http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/299711>
3. **Li, Tao** (2024). Human-computer interaction in virtual reality environments for educational and business purposes. *Management of Development of Complex Systems*, 57, 112 – 117. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.57.112-117 [category «B», Index Copernicus] <http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/301837>
4. **Li, Tao, Honcharenko, T.** (2024). Integrating advanced human-computer interaction and machine learning models for optimizing VR systems in educational and business applications. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» A series of “Information and Modeling”*, 1 – 2 (11 – 12), 105 – 120. DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.09 [category «B», Index Copernicus]

**Матеріали міжнародних наукових конференцій, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus**

(не входять до переліку МОН України)

5. Tsiutsiura, M., Kostyshyna, N., Yerukaiev, A., Danylyshyn, S., Honcharenko, Y., & **Li, Tao.** (2022). Research of Housing Comfort Using Linguistic Variables. 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 1 – 5. DOI: 10.1109/SIST54437.2022.9945736 [*Scopus*].
6. Levytskyi, V., Tsiutsiura, M., Yerukaiev, A., Rusan, N., & **Li, Tao.** (2023). The Working Principle of Artificial Intelligence in Video Games. 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 246 – 250. DOI: 10.1109/SIST58284.2023.10223491 [*Scopus*].
7. **Tao, Li, Dolhopolov, S., & Honcharenko, T.** (2024). Strategizing VR Integration in Business and Education: Extending the Technology Acceptance Model through Project Management Perspectives. *International*

*Workshop IT Project Management, Vol. 3709, 250 – 263 [Scopus, Q4, ISSN 1613-0073].*

**Тези доповідей наукових та науково-практичних конференцій**

8. Tsiutsiura, M., Dolhopolov, S., & **Li, Tao**. (2021). Audio-visual assistant for learning foreign languages using machine learning technology. Eighth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”, 15 – 16.
9. **Li, Tao**, Kopcha, O., & Lukeniv, D. (2022). Using the REST API to create and receive information. Ninth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”.
10. Tsiutsiura, M., Nechyporenko, D., & **Li, Tao** (2023). Development of automatic “clever refrigerator” technology with the help of “AI – system product control” artificial intelligence. Tenth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”, 12 – 14.
11. **Li, Tao** (2023). Enhancing Learning Through Immersive Virtual Reality (VR) Technologies in Education. BMC-2023 – International Scientific-Practical Conference of young scientists “Build-Master-Class-2023”, 425–426.