

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Стратегічне
управління, управління
портфелями, програмами та
проектами**

№ 1(10)

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2025

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: Strategic
management, portfolio,
program and project
management**

No. 1(10)

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Kharkiv
NTU "KhPI", 2025

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків : НТУ «ХПІ», 2025. № 1(10). 80 с. ISSN 2311-4738.

Збірник присвячений розгляду проблем інформаційних технологій управління розвитком компаній, територій і держав. Головна увага приділяється створенню та використанню інформаційних технологій у стратегічному управлінні, управлінні портфелями, програмами, проектами.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців в галузі управління розвитком складних систем та інформаційних технологій.

The bulletin is devoted to the problems of information technologies for managing the development of companies, territories, and states. The main focus is on the creation and use of information technology in strategic management, portfolio, program, and project management.

This is for researchers, university professors, postgraduates, students, and professionals in complex systems development management and information technology.

Ідентифікатор медіа R30-01547, згідно з рішенням Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення від 16.10.2023 №1075

Мова статей – українська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами внесено до категорії Б «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії», затвердженого Наказом МОН України № 886 від 02.07.2020 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства» зі спеціальностей:

122 Комп'ютерні науки

126 Інформаційні системи та технології

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами», індексується в міжнародних наукометричних базах, репозитаріях та пошукових системах: *WorldCat (США), ResearchBib (Японія), Directory of Research Journals Indexing, Directory of Open Access Journals (США), Universal Impact Factor, Scientific Indexing Services, Google Scholar* і включений у світовий довідник періодичних видань бази даних *Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)*.

Офіційний сайт видання <http://pm.khpi.edu.ua/>

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Кононенко Ігор Володимирович., д-р. техн. наук, професор, Україна

Chief Editor

Kononenko Igor, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine

Відповідальний секретар

Лобач Олена Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, Україна

Executive Secretary

Lobach Olena, PhD, Ass. Professor, Ukraine

Редакційна колегія

Бушуйєв Сергій Дмитрович, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Раскін Лев Григорович, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Романенков Юрій Олександрович, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Саченко Анатолій Олексійович, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Сіра Оксана Володимирівна, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Чумаченко Ігор Володимирович, д-р. техн. наук, професор, Україна;
Elmas Çetin, доктор наук, професор, Туреччина;
Jaafari Ali, доктор наук, професор, Австралія;
Kolesnikova Kateryna, д-р. техн. наук, професор, Казахстан;
Kryvinska Natalia, д-р. техн. наук, професор, Австрія.

Editorial team

Bushuyev Sergey, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Raskin Lev, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Romanenkov Yuri, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Sachenko Anatoliy, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Sira Oksana, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Chumachenko Igor, Dr. Tech. Sc., Professor, Ukraine;
Elmas Çetin, Doctor of Sciences, Professor, Turkey;
Jaafari Ali, Doctor of Sciences, Professor, Australia;
Kolesnikova Kateryna, Dr. Tech. Sc., Professor, Kazakhstan
Kryvinska Natalia, Dr. Tech. Sc., Professor, Austria.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ». Протокол № 4 від 27 березня 2025 р.

S. BUSHUYEV, A. PUZICHUK, N. BUSHUYEVA, V. BUSHUIEVA, D. BUSHUIEV

STRATEGIC DEVELOPMENT OF EDUCATION PROGRAM UNDER THE INFLUENCE OF AI

The subject of this research is the strategic development of education programs under the influence of Artificial Intelligence (AI). It focuses on exploring how AI technologies can be effectively integrated into educational systems to enhance learning outcomes, improve administrative efficiency, and address contemporary challenges such as accessibility, inclusivity, and ethical concerns. The object of research is the education programs themselves, specifically their structure, delivery, and outcomes, as influenced by the integration of Artificial Intelligence (AI). The rapid evolution of Artificial Intelligence (AI) has profoundly impacted various sectors, including education. This paper examines the strategic development of education programs influenced by AI, exploring how advanced technologies can transform traditional pedagogies, curriculum design, and educational delivery. It identifies key areas where AI contributes to personalized learning, adaptive assessment, and administrative efficiency, offering solutions to challenges such as accessibility and scalability. The study highlights case examples of AI integration into educational systems and provides a framework for policymakers and educators to strategically implement AI-driven tools. Furthermore, ethical considerations, such as data privacy, algorithmic bias, and the role of educators in an AI-enhanced environment, are critically discussed. The findings suggest that leveraging AI in education requires a balanced approach to ensure innovation aligns with equity, inclusivity, and sustainability. This paper aims to guide stakeholders in harnessing AI to create forward-thinking, effective, and ethical educational programs for the 21st century. The research confirms that AI can profoundly transform education programs by enhancing personalization, efficiency, and scalability. However, addressing ethical and infrastructural challenges is essential for equitable and sustainable adoption. The results provide actionable insights for policymakers, educators, and administrators to strategically implement AI-driven solutions in education.

Keywords: Strategic development, Artificial Intelligence, Education, Personalized Learning, Adaptive Learning.

С. БУШУЄВ, А. ПУЗІЙЧУК, Н. БУШУЄВА, В. БУШУЄВА, Д. БУШУЄВ

СТРАТЕГІЧНИЙ РОЗВИТОК ОСВІТНІХ ПРОГРАМ ПІД ВПЛИВОМ ШІ

Предметом дослідження є стратегічний розвиток освітніх програм під впливом штучного інтелекту (ШІ). Він зосереджений на вивченні того, як технології штучного інтелекту можна ефективно інтегрувати в освітні системи для покращення результатів навчання, підвищення адміністративної ефективності та вирішення сучасних проблем, таких як доступність, інклюзивність та етичні проблеми. Об'єктом дослідження є самі освітні програми, зокрема їх структура, надання та результати під впливом інтеграції штучного інтелекту (ШІ). Швидка еволюція штучного інтелекту (ШІ) глибоко вплинула на різні сектори, включаючи освіту. У цій статті розглядається стратегічний розвиток освітніх програм під впливом штучного інтелекту, досліджується, як передові технології можуть змінити традиційну педагогіку, розробку навчальних програм і надання освіти. Він визначає ключові сфери, де штучний інтелект сприяє персоналізованому навчанню, адаптивному оцінюванню та адміністративній ефективності, пропонуючи рішення таких проблем, як доступність і масштабованість. Дослідження висвітлює приклади інтеграції штучного інтелекту в освітні системи та забезпечує структуру для політиків і освітян для стратегічного впровадження інструментів, керованих штучним інтелектом. Крім того, критично обговорюються етичні міркування, такі як конфіденційність даних, упередженість алгоритмів і роль викладачів у середовищі, розширеному ШІ. Отримані результати свідчать про те, що використання штучного інтелекту в освіті потребує збалансованого підходу, щоб забезпечити відповідність інновацій справедливості, інклюзивності та сталості. Цей документ спрямований на те, щоб допомогти зацікавленим сторонам використовувати ШІ для створення перспективних, ефективних і етичних освітніх програм для 21-го століття. Дослідження підтверджує, що штучний інтелект може кардинально трансформувати освітні програми шляхом підвищення персоналізації, ефективності та масштабованості. Однак вирішення етичних та інфраструктурних проблем є важливим для справедливого та стабільного усвоєння. Результати надають практичну інформацію для розробників політики, викладачів і адміністраторів для стратегічного впровадження рішень на основі ШІ в освіті.

Ключові слова: стратегічний розвиток, штучний інтелект, освіта, персоналізоване навчання, адаптивне навчання.

1 Introduction.

The advent of Artificial Intelligence (AI) has ushered in a new era of possibilities, reshaping industries and influencing every aspect of society. In education, AI presents unprecedented opportunities to enhance learning experiences, improve administrative efficiency, and bridge educational gaps. However, the strategic incorporation of AI into education programs requires a comprehensive understanding of its potential benefits, limitations, and ethical implications. Traditional educational models often struggle to meet the demands of a rapidly changing world, characterized by diverse learning needs, global interconnectivity, and the necessity for lifelong learning. AI-driven technologies, such as intelligent tutoring systems, personalized learning platforms, and automated assessment tools, have emerged as transformative solutions to these challenges. These technologies promise to revolutionize curriculum delivery, learner engagement, and teacher-student dynamics.

This paper explores the strategic development of education programs under the influence of AI, aiming to provide a roadmap for educators, policymakers, and stakeholders to harness AI effectively. It addresses critical questions: How can AI personalize education while maintaining equity and inclusivity? What role should educators play in an AI-augmented system? How can ethical concerns, such as data privacy and algorithmic bias, be mitigated?

By examining the integration of AI in education, this study seeks to identify best practices, highlight successful implementations, and propose a strategic framework for developing innovative and sustainable education programs. The ultimate goal is to create educational systems that not only adapt to the demands of the 21st century but also empower learners and educators to thrive in an AI-driven world.

Key aspects of the research subject are presented on Fig. 1.

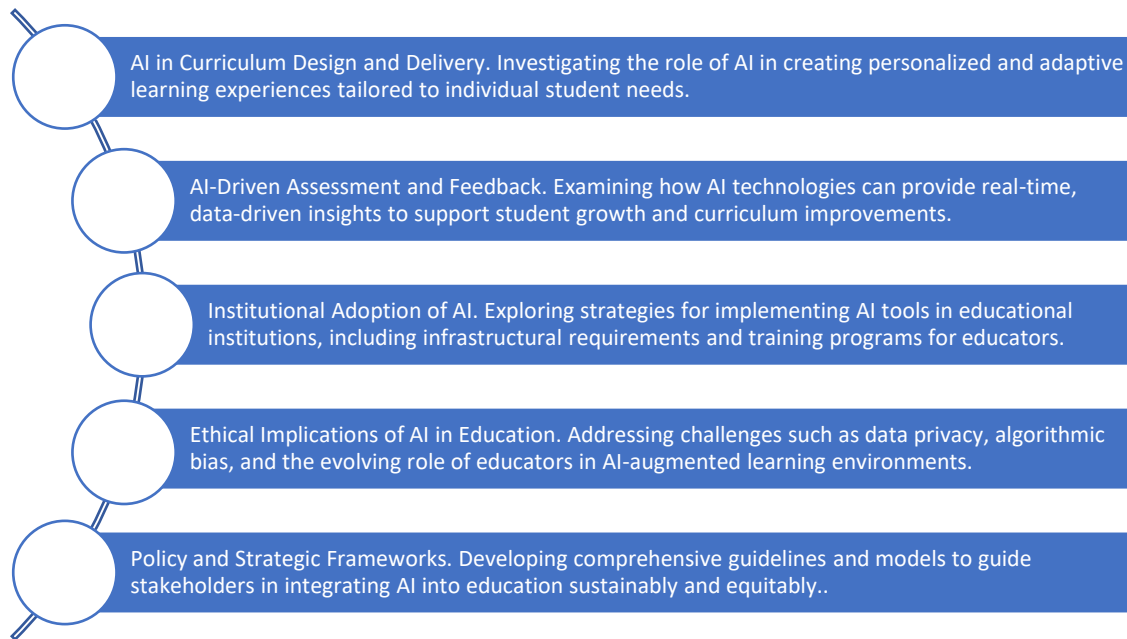


Fig. 1. Key aspects of the research

The research aims to provide actionable insights and frameworks for stakeholders-educators, policymakers, technologists, and learners-to leverage AI in building forward-thinking, inclusive, and impactful education programs.

The research on the strategic development of education programs under the influence of AI yielded the following results.

1. Enhanced Personalization and Learning Outcomes

AI-driven tools, such as adaptive learning systems and intelligent tutoring platforms, significantly improve learning outcomes by tailoring content to individual learner needs. Students using personalized AI-based systems exhibit higher engagement, better retention rates, and faster skill acquisition compared to traditional methods.

2. Increased Efficiency in Educational Processes

Automation of administrative tasks, such as grading, enrollment, and scheduling, reduces the workload on educators and administrators, allowing them to focus on strategic and teaching activities. Predictive analytics enables early identification of at-risk students, facilitating timely interventions.

3. Cost-Effective Scalability

AI technologies offer scalable solutions that enable education programs to reach more learners without proportional increases in costs, especially in remote or underserved regions. The integration of AI helps reduce the reliance on physical infrastructure, enabling cost-effective online and hybrid learning models.

4. Improved Curriculum Design

AI-assisted data analysis helps in continuously refining curricula based on learner performance and feedback. The incorporation of emerging technologies such as machine learning, cloud computing, and cybersecurity into IT education programs ensures relevance to industry demands.

5. Ethical and Equity Challenges Identified

Concerns around data privacy, algorithmic bias, and unequal access to AI technologies remain significant barriers to equitable education. The need for robust ethical frameworks and transparent policies to govern AI usage in education is critical for its sustainable implementation.

6. Educator Roles and Training

AI adoption requires educators to acquire new skills, including the ability to operate AI-based tools and understand AI's limitations. The educator's role evolves to focus more on mentoring, critical thinking, and interpersonal skills, complementing AI-driven automation.

7. Strategic Framework Validated

The proposed strategic framework and mathematical model provide a viable foundation for planning and evaluating AI integration in education programs. Stakeholder collaboration, continuous feedback, and ethical considerations are essential components for successful implementation.

8. Case Studies and Pilot Programs

Analysis of pilot programs shows that institutions adopting AI see improvements in student satisfaction and learning outcomes, though initial challenges include high implementation costs and technical expertise requirements.

2 Related Works

The strategic development of education programs under the influence of artificial intelligence (AI) is a rapidly evolving field. AI's integration into educational systems offers opportunities for personalized learning, improved accessibility, and enhanced operational efficiency [1]. However, it also presents challenges such as potential job displacement, privacy concerns, and the need for strategic oversight.

AI is being strategically integrated into educational systems to create "smart universities" and adaptive learning environments. These systems aim to personalize learning

experiences, improve accessibility, and enhance economic efficiency. However, the transition to AI-driven education requires careful consideration of potential pitfalls, including educational quality, job displacement, and privacy issues [2, 3].

AI education programs are increasingly being implemented, focusing on developing AI literacy and problem-solving skills among young learners. These programs have shown positive impacts on students' motivation, engagement, and attitudes towards AI. However, there is a need for more research to objectively measure students' knowledge acquisition as learning outcomes [4, 5].

The integration of AI in education presents several challenges, including data confidentiality, potential plagiarism, and socioeconomic disparities due to unequal access to technology. There is also a significant gap in legislation regarding AI usage standards in education. Addressing these challenges requires strategic oversight and collaboration among policymakers, educators, and stakeholders [6, 7].

In higher education, AI is being used to enhance postgraduate teaching by fostering active engagement and meaningful learning interactions. A proposed framework for integrating AI into postgraduate education aims to empower professional learners and enrich their learning experiences. This approach highlights the importance of combining AI technologies with pedagogical strategies to meet the needs of professional learners [8, 9].

Future research and strategic planning should focus on developing comprehensive AI education strategies, creating new academic disciplines centered on AI expertise, and promoting grant funding for AI research. Additionally, there is a need for curriculum development that incorporates AI education, guided by frameworks such as self-determination theory and various curriculum planning approaches [9, 10].

The increasing integration of Artificial Intelligence (AI) in education is revolutionizing assessment practices. This paper explores the multifaceted role of AI in education, encompassing automated grading, instant feedback mechanisms, and personalized adaptive learning. We delve into the potential of AI to mitigate biases and enhance fairness in assessment while acknowledging the critical need to address ethical considerations such as data privacy and the potential for algorithmic bias.

3 Method and Material

3.1. Conceptual model of strategic development of education programs under the influence of Artificial Intelligence

The conceptual model for strategically developing education programs under the influence of AI is centered around four interrelated components: Foundational Pillars, AI-Driven Educational Elements, Implementation Strategies, and Ethical Considerations. This model outlines how AI can be integrated into education systems to enhance effectiveness, equity, and adaptability while maintaining ethical integrity (Fig. 2).

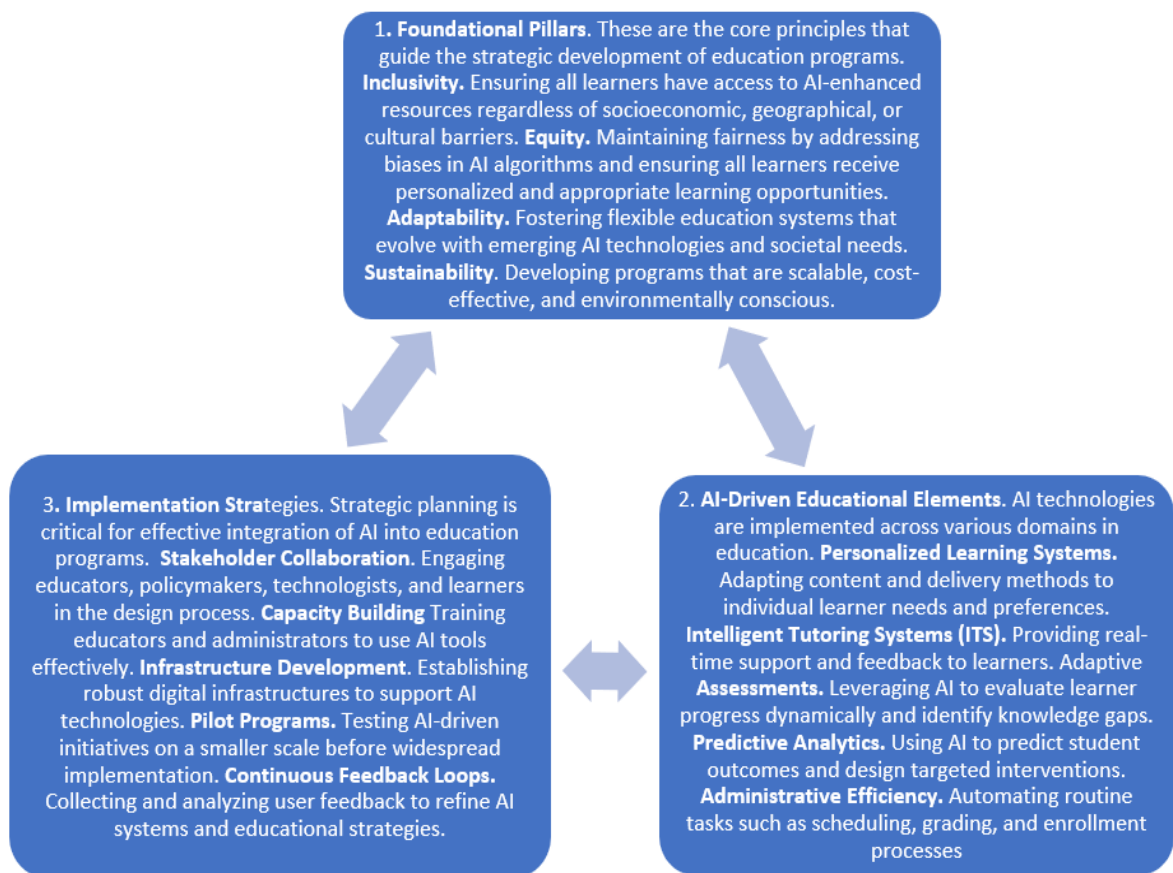


Fig.2. The conceptual model for strategically developing education programs

This conceptual model serves as a blueprint for integrating AI into education, enabling stakeholders to design programs that are innovative, ethical, and aligned with the future needs of learners.

Let's look how changing the scope of an educational program in IT under influence of AI.

Changing the scope of an educational program in IT involves adapting its focus, content, and structure to meet evolving technological, industry, and societal demands. Below are key steps and strategies to effectively redefine the scope of an IT education program (Table 1).

Table 1 – Changing the scope of an educational program in IT

	Key Actions	Examples
1. Identify Emerging Trends and Industry Needs	- Analyze Market Demands. Monitor job market trends, technological advancements, and industry needs, focusing on AI, cybersecurity, cloud computing, blockchain, IoT, and data science.	Regularly analyze job market reports (e.g., LinkedIn, Glassdoor) to identify high-demand skills such as AI and data science.
	- Consult Industry Experts. Collaborate with IT professionals and organizations to understand required skills and knowledge.	Host workshops or roundtables with tech industry leaders to inform curriculum updates.
2. Redefine Program Objectives	- Update the mission and vision to align with the emerging technological landscape.	Add lifelong learning objectives, emphasizing adaptation to evolving IT trends.
	- Focus on competencies in emerging technologies while retaining core IT principles.	Highlight skills like AI programming, data analysis, and cybersecurity within the program's core goals.
3. Revise Curriculum Design	- Incorporate Cutting-Edge Topics. Introduce courses on AI, machine learning, quantum computing, and DevOps.	Add a course on Quantum Computing Fundamentals alongside foundational programming courses.
	- Emphasize Practical Skills. Include labs, coding bootcamps, and industry certifications.	Partner with platforms like AWS Academy to offer cloud computing certifications.
	- Expand Interdisciplinary Areas. Integrate IT with fields such as business, healthcare, and sustainability.	Offer modules on "AI in Healthcare" or "Sustainability through IoT."
	- Promote Research and Innovation. Encourage hackathons and innovation projects.	Organize an annual "Tech for Social Good" hackathon to inspire innovative IT solutions.
4. Leverage Advanced Teaching Methods	- Use AI-driven personalized learning platforms for adaptive instruction.	Implement tools like Coursera Labs for adaptive, hands-on learning experiences.
	- Implement blended learning models combining online and in-person sessions.	Create hybrid courses with flexibility for students to attend remotely or on-site.
	- Introduce simulation-based learning for areas like cybersecurity and network management.	Use cybersecurity labs like Cybrary for virtual network defense training.
	- Encourage peer learning through collaborative projects and coding sprints.	Assign capstone projects requiring group efforts to design IT systems.
5. Strengthen Partnerships with Industry and Academia	- Establish internship programs with leading IT companies to provide real-world exposure.	Collaborate with Microsoft, Google, or startups for internships and mentoring opportunities.
	- Collaborate with tech giants for guest lectures, mentorship, and co-designed courses.	Partner with Amazon to offer guest lectures on cloud services and product lifecycle management.
	- Partner with research institutions to explore emerging technologies and their applications.	Develop joint research programs with universities focusing on AI and IoT.
6. Integrate Ethical and Societal Perspectives	- Include topics on AI ethics, data privacy, and cybersecurity laws.	Create a dedicated course on "Ethics and Legal Aspects of AI."
	- Focus on IT solutions that prioritize sustainability and inclusivity.	Assign projects like "Designing AI Systems for Sustainable Development Goals (SDGs)."
7. Foster Skills Beyond IT	- Incorporate soft skills training such as communication, teamwork, and problem-solving.	Add a module on "Leadership and Collaboration in IT Projects."
	- Develop entrepreneurial skills to enable students to innovate and create startups.	Offer courses like "IT Entrepreneurship and Startup Ecosystems."
8. Monitor and Evaluate Program Outcomes	- Establish feedback mechanisms for continuous improvement.	Use surveys for students, alumni, and employers to refine course offerings.
	- Use metrics like job placement rates, satisfaction, and industry recognition to assess program success.	Track graduate employment in emerging IT fields (e.g., AI and blockchain roles) and adjust curricula based on employer needs.

This table organizes the strategic framework into actionable steps, providing a clear pathway for transforming traditional IT programs into future-ready, AI-driven education models

Changing the scope of an IT program requires aligning educational goals with technological trends and fostering a culture of adaptability and innovation.

3.2. A competence model for AI-driven education projects

A competence model for AI-driven education projects identifies the critical skills, knowledge, and abilities required by key stakeholders to effectively design, implement, and manage education projects influenced by AI. It ensures that all participants are prepared to leverage AI technologies while addressing associated challenges (Table 1).

Table 1 – Competence Model for AI-Driven Education Projects

Domain	Competence Area	Description	Competence Level
Technical Competencies	AI Fundamentals	Understanding AI concepts (e.g., machine learning, NLP, computer vision) and their applications in education.	Foundational, Operational, Strategic
	Data Management	Skills in data collection, cleaning, analysis, and understanding privacy regulations.	Operational, Strategic
	AI Tool Proficiency	Expertise in using AI tools like adaptive platforms, predictive analytics, and tutoring systems.	Operational
	Programming and Automation	Proficiency in programming languages (e.g., Python, R) and developing automated educational solutions.	Operational, Strategic
Pedagogical Competencies	AI-Enhanced Teaching	Integrating AI in teaching strategies and curriculum design for personalized learning.	Operational
	Assessment and Feedback	Designing adaptive assessments and utilizing AI-driven insights for improvement.	Operational
	Learning Analytics	Analyzing and interpreting AI-generated data to support learner progress and interventions.	Operational, Strategic
Ethical and Societal Competencies	Ethical AI Use	Recognizing and mitigating biases in AI systems and ensuring ethical compliance.	Foundational, Strategic
	Inclusivity and Accessibility	Designing AI systems that are equitable and accessible to all learners.	Operational, Strategic
	Critical AI Evaluation	Assessing limitations and risks of AI and balancing automation with human oversight.	Strategic
Strategic and Project Management Competencies	Stakeholder Collaboration	Engaging educators, technologists, policymakers, and learners for successful project planning.	Strategic
	Change Management	Managing resistance to AI adoption through training and cultural shifts.	Strategic
	Policy Development	Creating and enforcing AI policies aligned with ethical and educational standards.	Strategic

This table organizes the competence areas into their respective domains and specifies the required level of expertise (foundational, operational, or strategic) for each area.

3.3. The mathematical model for the Strategic Development of Education Programs Under the Influence of AI

Model Variables

1. Learner-Centric Variables:

- L_p – Personalized learning effectiveness.
- Ac – Adaptive curriculum flexibility.
- Ss – Student satisfaction.

2. Technology Variables:

- Ta – AI adoption rate in education.
- Te – Technological effectiveness of AI tools.
- Ci – Cost of implementation.

3. Institutional Variables:

- Rf – Resource availability (infrastructure, funding).
- Et – Educator training effectiveness.
- Pe – Program efficiency (measured by outcomes such as completion rates, skill acquisition).

4. Ethical Variables:

- Dp – Data privacy compliance.
- Ba – Algorithmic bias reduction.
- Ef – Ethical fairness.

Model Construction

The model represents the **Outcome of Strategic Development (O_s)** as a function of these variables, incorporating their interdependencies:

$$O_s = f(L_p, Ac, Ss, Ta, Te, Ci, Rf, Et, Pe, Dp, Ba, Ef)$$

Each variable can be expressed as a function of its influencing factors. For simplicity, we define key relationships:

1. Learner-Centric Model

$$Lp = a_1 \cdot Te + a_2 \cdot Ac + a_3 \cdot Ss$$

Where a_1 , a_2 , a_3 are weights for technological effectiveness, curriculum adaptability, and student satisfaction, respectively.

$Ss = \beta_1 \cdot Pe - \beta_2 \cdot Ci$ are weights showing how program efficiency and cost influence satisfaction.

2. Technology Adoption Model

$$Ta = \gamma_1 \cdot Rf - \gamma_2 \cdot Ci$$

Where γ_1 and γ_2 are coefficients indicating how resources and costs impact AI adoption.

$$Te = \delta_1 \cdot Ta - \delta_2 \cdot Et$$

Where δ_1 and δ_2 measure the contributions of AI adoption and educator training to technology effectiveness.

3. Ethical Compliance Model

$$Ef = \epsilon_1 \cdot Dp - \epsilon_2 \cdot Ba$$

Where ϵ_1 and ϵ_2 indicate the importance of data privacy and bias reduction for fairness.

$$Ba = \varsigma_1 / (Ta + 1)$$

Where ς_1 is a constant showing bias reduction difficulty as AI adoption increases.

Overall Strategic Outcome

Combining these relationships, the strategic development outcome Os can be expressed as:

$$Os = \eta_1 \cdot Lp + \eta_2 \cdot Ta + \eta_3 \cdot Pe + \eta_4 \cdot Ef$$

Where η_1 , η_2 , η_3 , η_4 are weights that balance learner outcomes, technology adoption, program efficiency, and ethical compliance.

Optimization Objective

The goal is to $\max Os$ while minimizing costs (Ci) and ensuring ethical fairness ($Ef \geq \text{threshold}$).

$$\text{Max } Os \text{ while } Ci \leq C_{\max}, Ef \geq E_{\min}, Ta, Rf, Lp \geq 0$$

This optimization problem can be solved using techniques like linear programming or multi-objective optimization to balance various factors influencing education program development.

4 Conclusions and Future Work

The integration of Artificial Intelligence (AI) in education offers transformative opportunities to enhance learning experiences, streamline administrative processes, and address global challenges in accessibility and inclusivity. This paper developed a strategic framework and a mathematical model for the development of education programs under the influence of AI, emphasizing key components such as personalized learning, adaptive curricula, and ethical considerations.

Let's look on the key findings.

AI's Potential. AI-driven tools, such as intelligent tutoring systems and predictive analytics, can significantly improve educational outcomes by enabling personalization and real-time feedback.

Mathematical Modeling. The proposed model provides a quantitative basis to evaluate and optimize the factors influencing program success, offering actionable insights for decision-makers.

Strategic Approach. A balanced strategy that combines technological advancement with ethical safeguards and stakeholder collaboration is essential for sustainable implementation.

Challenges. Effective integration requires addressing issues like algorithmic bias, data privacy, and the digital divide.

Despite the promising results, the study recognizes that the application of AI in education is still in its nascent stages. Continued efforts are required to refine the framework and ensure equitable access for all learners.

References

- Chen, L., Chen, P. and Lin, Z. (2020) 'Artificial Intelligence in Education: A Review', *IEEE Access*, 8, pp. 75264–75278. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988510.
- Luan, H., Géczy, P., Lai, H., Gobert, J., Yang, S., Ogata, H., Baltes, J., Guerra, R., Li, P., & Tsai, C. (2020). Challenges and Future Directions of Big Data and Artificial Intelligence in Education. *Frontiers in Psychology*, Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.580820>.
- Baek, C., & Doleck, T. (2020). A Bibliometric Analysis of the Papers Published in the Journal of Artificial Intelligence in Education from 2015-2019. *International Journal of Learning Analytics and Artificial Intelligence in Education*, 2, 67. <https://doi.org/10.3991/ijai.v2i1.14481>.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>.
- Paek, S., & Kim, N. (2021). Analysis of Worldwide Research Trends on the Impact of Artificial Intelligence in Education. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13147941>.
- Zhai, X., Chu, X., Chai, C., Jong, M., Istenić, A., Spector, M., Liu, J., Yuan, J., & Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complex.*, 2021, 8812542:1-8812542:18. <https://doi.org/10.1155/2021/8812542>.
- Jebadurai, D., Dheenadayalan, M., & Chandrasekaran, D. (2023). Relevancy of Artificial Intelligence in Education: A Conceptual Review. *Journal of Informatics Education and Research*. <https://doi.org/10.52783/jier.v3i2.322>.
- Dogan, M., Dogan, T., & Bozkurt, A. (2023). The Use of Artificial Intelligence (AI) in Online Learning and Distance Education Processes: A Systematic Review of Empirical Studies. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app13053056>.
- Yakkala, K. (2024). AI-powered assessment tools for E-learning: Enhancing feedback and grading systems. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.13.1.0497>.
- Bushuyev, S. D., & Ivko, A. V. CONSTRUCTION OF MODELS AND APPLICATION OF SYNCRETIC INNOVATION PROJECT MANAGEMENT IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3/3 (129) 2024 (p. 44–54) DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306436.

Received (надійшла) 20.02.2025

Бушуєв Сергій Дмитрович (Bushuyev Sergey) – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри управління проєктами; м. Київ, Україна; e-mail: sbushuyev@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7815-8129>

Пузійчук Андрій Вікторович (Puziichuk Andriy) – доктор філософії, доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри управління проєктами, м. Київ, Україна; e-mail: a.puziichuk2018@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7197-5855>

Бушуєва Наталія Сергіївна (Bushuyeva Nataliia) – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри управління проєктами, м. Київ, Україна; e-mail: Natbush@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4969-7879>

Бушуєва Вікторія Борисівна (Bushuyeva Victoria) – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри управління проєктами, м. Київ, Україна; e-mail: bushuieva.v@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7298-4369>

Бушуєв Денис Антонович (Bushuyev Denis) – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри управління проєктами, м. Київ, Україна; e-mail: BushuyevD@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5340-5165>

М. С. БУГАЄВСЬКИЙ, Ю. А. ПЕТРЕНКО**БАГАТОРІВНЕВЕ ПЛАНУВАННЯ Й УПРАВЛІННЯ У РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА ТА ЛАНЦЮЖКАХ ПОСТАВОК БЕТОНУ**

Актуальність дослідження пов'язана з тим, що відновлення знищеного житлового фонду, відбудова пошкодженої інфраструктури та промислових будівель, відновлення робіт на всіх будівельних майданчиках країни призведе до різкого зростання попиту на бетон, що вочевидь буде перевищувати існуючі виробничі потужності. Тому, одним з ключових пріоритетів українських бетонних заводів вже сьогодні має стати реалізація стратегії та відповідних проєктів розвитку, що спрямовані на підвищення продуктивності без втрати якості. Метою роботи є підвищення ефективності планування виробництва та логістики готового бетону на основі системного представлення та імітаційного моделювання в умовах динаміки ринкових вимог та обмежень. Отримані наступні результати. Запропоновано багаторівневу модель планування в логістиці бетону, яка враховує як його виробництво, так і розподіл та дозволяє вирішувати завдання узгодження планів постачання та розвитку підприємства. Використання даної моделі дозволяє проводити системний аналіз портфеля замовлень та проєктів розвитку виробництва з метою виявлення можливості їх реалізації на конкретному підприємстві, погоджувати плани реалізації проєктів та плани підприємства на різних рівнях планування, відбирати замовлення/проєкти до реалізації у відповідність до обраної стратегії розвитку. Розроблено імітаційну модель аналізу процесів виробництва та логістики готових бетонних сумішей, за допомогою якої можливе вирішення цілого ряду завдань, серед яких оцінка раціональності та ефективності організації виробництва та доставки бетону, визначення вузьких місць виробничих та логістичних процесів, прогнозування показників діяльності бетонних заводів, з урахуванням зміни умов виробництва, формування даних для прийняття рішень щодо скорочення часу простою заводу та клієнта тощо. Сформовані моделі можуть бути корисним інструментом, який допоможе менеджерам, диспетчерам та інженерам бетонних заводів спланувати свою діяльність.

Ключові слова: товарний бетон; доставка бетону; ланцюг поставок; планування виробництва та логістики; імітаційне моделювання.

M. BUGAEVSKYI, Y. PETRENKO**MULTI-LEVEL PLANNING AND MANAGEMENT IN CONCRETE PRODUCTION DEVELOPMENT AND SUPPLY CHAINS**

The relevance of the research is linked to the fact that the restoration of destroyed housing stock, the reconstruction of damaged infrastructure and industrial buildings, and the resumption of work on all construction sites across the country will lead to a sharp increase in demand for concrete, which will evidently exceed existing production capacities. Therefore, one of the key priorities for Ukrainian concrete plants today must be the implementation of strategies and development projects aimed at increasing productivity without compromising quality. The purpose of this study is to enhance the efficiency of production planning and logistics for ready-mixed concrete based on a systematic approach and simulation modeling under the dynamics of market demands and constraints. The following results have been obtained. A multi-level planning model for concrete logistics has been proposed. This model considers both production and distribution processes, allowing for the alignment of supply plans with the enterprise's development strategies. The use of this model enables systematic analysis of order portfolios and production development projects to assess their feasibility at a specific enterprise, coordinate project implementation plans with enterprise strategies at various planning levels, and select orders/projects for execution according to the chosen development strategy. A simulation model for analyzing the processes of production and logistics of ready-mixed concrete has been developed. This model facilitates solving various tasks, including evaluating the rationality and efficiency of production and delivery organization, identifying bottlenecks in production and logistics processes, forecasting performance indicators of concrete plants under changing production conditions, and generating data to support decisions aimed at reducing downtime for both plants and clients. The models developed can serve as valuable tools to assist managers, dispatchers, and engineers at concrete plants in planning their operations effectively.

Keywords: ready-mix concrete; concrete delivery; supply chain; production and logistics planning; simulation modeling.

Вступ. Відновлення знищеного житлового фонду, відбудова пошкодженої інфраструктури та промислових будівель, відновлення робіт на всіх будівельних майданчиках країни призведе до різкого зростання попиту на бетон, що вочевидь буде перевищувати існуючі виробничі потужності [1]. Тому, одним з ключових пріоритетів українських бетонних заводів вже сьогодні має стати реалізація стратегії та відповідних проєктів розвитку, що спрямовані на підвищення продуктивності без втрати якості.

Наразі найбільшими драйверами попиту для бетону є інфраструктурне будівництво, зведення фортифікаційних та різноманітних військових захисних споруд, а також роботи з відбудови постраждалих від війни регіонів. Житлове будівництво за зрозумілих причин не показує чітких маркерів щодо стабілізації ринку. Однією з особливостей у забезпеченні поставок бетону є коротке логістичне плече та чутливість до дотримання графіків постачання бетонної суміші [2].

Слід зазначити, що сьогодні багато компаній використовують мобільні або частково мобільні бетонозмішувальні установки. Це економічно вигідне рішення, адже такі установки потребують менших капіталовкладень при купівлі, не вимагають великої кількості обслуговуючого персоналу і забезпечують високу якість продукції.

У кінцеву вартість товарного бетону включено його виробництво та доставку. У межах міста розміщення бетонного заводу поблизу об'єкта іноді неможливе через обмежену площу будівельного майданчику. До того ж у містах зазвичай є достатня кількість бетонних заводів, які забезпечують конкурентну ціну. У таких умовах замовники орієнтуються на оптимальне співвідношення «ціна/якість».

Якщо будівельний майданчик розташований далеко від міста, виникає велике логістичне плече, що збільшує витрати і час доставки, а це погіршує якість бетонної суміші та ускладнює будівництво. У таких випадках аналізується доцільність встановлення

бетонозмішувального заводу поблизу будівельного майданчика з урахуванням необхідного обсягу бетону для проєкту. Важливими факторами є інвестиції, наявність транспорту та інші логістичні аспекти.

На ринку бетону також спостерігається тенденція до укрупнення бізнесу. Для підвищення стабільності компанії створюють групи, холдинги чи вертикально інтегровані структури, які об'єднують виробників цементу, бетону та підприємства суміжних галузей. Такий підхід дозволяє зміцнити позиції в регіоні та розширити географію поставок продукції.

Таким чином, сучасні умови виробництва бетону висувають низку викликів, пов'язаних із мобільністю виробничих потужностей, логістикою доставки та економічною доцільністю інфраструктурних рішень. Мобільні та стаціонарно-мобільні бетонозмішувальні вузли дозволяють адаптувати виробництво до географічних змін попиту, але потребують ретельного планування розташування і використання, щоб уникнути перевитрат і забезпечити якість продукції.

Водночас віддалені будівельні об'єкти вимагають зваженого рішення щодо розміщення вузлів, що враховує логістичні витрати, час доставки, та обсяги проєкту. Окрім того, розвиток ринку бетону, зокрема створення великих інтегрованих компаній, посилює конкуренцію, стимулюючи оптимізацію виробничих і логістичних процесів.

Отже, перед бетонними заводами стоїть завдання розробки ефективних механізмів планування і управління, які забезпечать:

- оптимальне розташування виробничих вузлів відповідно до попиту та логістичних обмежень;
- скоординовану логістику доставки для мінімізації витрат і дотримання якості продукції;
- гнучке управління виробництвом у контексті змін ринку та потреб проєктів розвитку.

Загалом, комплексне планування та управління дозволяє не лише ефективно вирішувати поточні завдання, але й формувати стратегію розвитку, адаптовану до вимог сучасного ринку будівельних матеріалів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема доставки бетону – це логістична задача, яка досліджує оптимальне відправлення вантажівок, задовольняючи деякі обмеження, пов'язані з часом, попитом і доступністю ресурсів [4].

Управління бетонними заводами з позицій логістичного підходу [5] потребує вирішення складних завдань, серед яких планування та оптимізація поставок, управління запасами сировини та формування потреб, складання розкладів роботи бетонозмішувальних установок, оптимізація автопарку міксерів та їх маршрутів руху та ін.

Слід відмітити, що невизначеність у виробництві та логістиці готового бетону виникає через низку зовнішніх і внутрішніх факторів [6]. До основних джерел належать:

- коливання попиту – будівельні проєкти можуть мати різні графіки, обсяги замовлень і вимоги до якості бетону, що ускладнює прогнозування;

- транспортні ризики – затори, погодні умови, військові загрози чи обмеження на дорогах можуть впливати на своєчасність доставки;

- залежність від сировини – перебої у постачанні цементу, піску або інших компонентів можуть впливати на виробничі графіки;

- мобільність виробничих потужностей – переміщення мобільних бетонозмішувальних вузлів потребує узгодження з прогнозованим попитом і логістикою, але не завжди можливо передбачити всі зміни.

Підходи до планування виробництва в умовах невизначеності можна умовно поділити на дві ключові категорії: адаптивні та прогностичні [7]. Адаптивні підходи, наприклад, динамічне перепланування, спрямовані на оперативне реагування на зміни у виробничих умовах. Вони дозволяють швидко реорганізувати ресурси та робочі процеси, зменшуючи негативні наслідки від непередбачуваних обставин [8].

Прогностичні підходи, навпаки, орієнтовані на врахування ймовірності виникнення стохастичних подій ще на етапі розробки базового плану. Вони дозволяють створювати стійкіші розклади, що враховують можливі ризики та варіанти їхнього пом'якшення.

Зазначені фактори створюють додаткові труднощі у плануванні та управлінні виробництвом та логістикою готового бетону, що вимагає поєднання проактивних та реактивних підходів для забезпечення стійкості й ефективності виробничо-логістичних процесів.

Для вирішення системних завдань планування та управління складними розподіленими системами, якими є і підприємства, що розглядаються з виробництва та доставки готового бетону, розроблено різні підходи, методи та моделі. Одним з методів дослідження складних розподілених систем є метод математичного (аналітичного) моделювання [9]. Серед аналітичних методів найбільш розроблені та відомі завдання оперативно-календарного планування та управління [10]. Тут використовується різноманітний математичний інструментарій: методи мережного планування та управління [11], лінійне та динамічне програмування [12] та ін. Невід'ємним елементом аналізу систем управління ланцюжками постачання є імітаційні моделі [13]. Найбільш якісні результати при аналізі динаміки виробництва та логістики готового бетону дають саме методи імітаційного моделювання, які дозволяють найбільш гнучко, повно та наочно відображати процеси, що протікають у системі.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення ефективності планування виробництва та логістики готового бетону на основі системного представлення та імітаційного моделювання в умовах динаміки ринкових вимог та обмежень.

Відповідно до поставленої мети дослідження необхідно вирішити такі завдання:

1. Розробити багаторівневу модель планування виробництва та логістики бетонних заводів.

2. Розробити імітаційну модель аналізу процесів виробництва та логістики готового бетону.

Створення імітаційної моделі буде сприяти підвищенню ефективності прийняття рішень щодо управління ризиками для раннього виявлення неоптимальної діяльності та майбутнього розвитку виробництва бетону та його логістики доставки.

Багаторівнева модель планування виробництва та логістики товарного бетону. Ключову роль в управлінні поточними процесами в ланцюжку поставок готового бетону відіграють питання оптимізаційного планування поставок та продажів готового бетону на основі прогнозування попиту, впливу цінових рішень / цін розміщення по регіонах поставки, аналізу «план-факт» та ін. Метою оптимізаційного планування є максимізація різниці між сумарними доходами та витратами на виробництво та розподіл продукції. На виході отримуємо систему взаємопов'язаних планів. Узагальнена схема процесу планування при керуванні виробництвом та логістикою готового бетону представлена на рис. 1.

Таке оптимізаційне планування виробництва та поставок товарного бетону має проводитися на основі прогнозування попиту, поточного стану підприємства та можливостей розвитку, асортиментної політики, впливу цінових рішень та ін. Багаторівнева модель планування (рис. 2) передбачає проведення аналізу та прийняття управлінських рішень на всіх рівнях управління: стратегічному, тактичному та оперативному.

Прийняття ефективних управлінських рішень, що визначають стратегію та тактику функціонування та розвитку виробника бетону, можливе лише за наявності гнучкої оптимізаційної системи, що враховує багатокритеріальність, динаміку та невизначеність.

Вхідними даними для планування стають замовлення від будівельних компаній, дані про запаси та доступність сировини, потужності виробничих ліній та інші. Таким чином, коли замовлення на бетон надходять на завод, менеджери стикаються з труднощами у швидкому складанні належного графіка виробництва та доставки через необхідність врахування великої кількості факторів.

До таких факторів належать: обсяг, терміновість замовлення, особливо враховуючи безперервність доставки та заливки бетону на будівельному майданчику; якість та властивості бетону у замовленні, що може вимагати конкретних характеристик та потребувати регулювання рецептури виробництва або застосування нових сумішей; пріоритетність замовлень, оскільки необхідно враховувати, які замовлення є критично важливими для завершення будівельних робіт; можливості виробничих потужностей та їх здатність оперативно виготовляти суміш, що вже залежить від поточного графіка роботи; транспортні ресурси – кількість доступних одиниць в власному автопарку, можливість залучення транспорту перевізників, маршрути доставки, відстань до об'єкта й дорожні умови, що впливає на розрахунок часу і витрат; логістичні обмеження, а саме синхронізація графіка доставки з графіком роботи будівельного майданчика, уникнення заторів або запізнь; наявні запаси, можливості та оптимізація постачання сировини.

Тому ефективне вирішення цих завдань вимагає впровадження систем планування, які здатні враховувати всі змінні, моделювати можливі сценарії та швидко адаптуватися до змін у режимі реального часу.

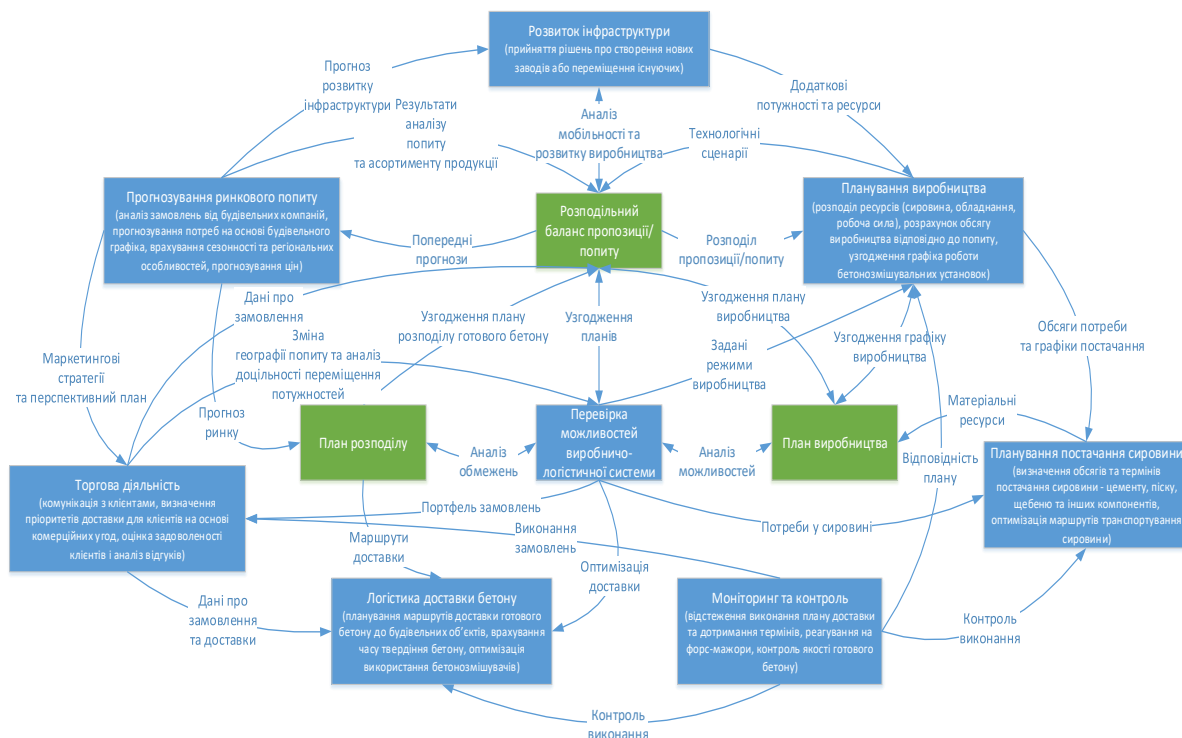


Рис. 1. Узагальнена схема процесу планування виробництва та логістики готового бетону

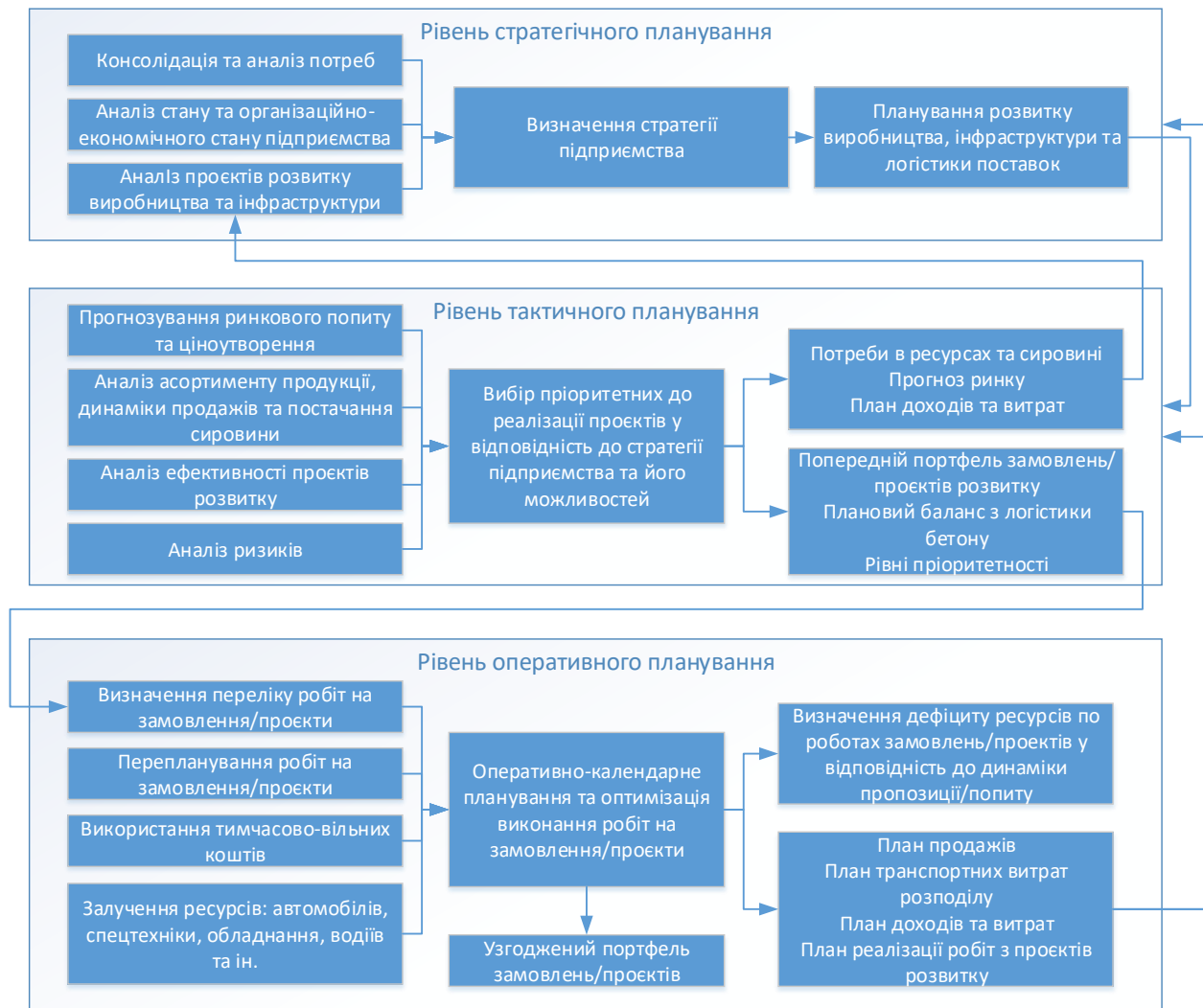


Рис. 2. Узагальнена схема процесу планування виробництва та логістики готового бетону

Формування розподільного балансу пропозиції/попиту виступає центральним елементом процесу планування, оскільки це потребує забезпечення ефективного використання виробничих ресурсів і задоволення потреб клієнтів через аналіз даних та моделювання з узгодженням графіків виробництва бетону, оптимізацією постачання сировини та маршрутів доставки готового бетону.

Важливу роль виконує блок моніторингу та контролю: відстеження процесу доставки та дотримання термінів; розрахунок показників ефективності; внесення змін у графіки за потреби та ін.

Імітаційна модель аналізу процесів виробництва та логістики бетону. Щоб повністю врахувати всі взаємозалежності, обмеження, динаміку і невизначеності, було створено імітаційну модель, яка охоплює всі процеси у виробництві та логістиці готових бетонних сумішей.

Імітаційна модель розроблена у середовищі AnyLogic [14, 15] та складається з компонент, кожен з яких відображає окремий елемент динаміки поведінки підприємства та інфраструктури розподілу бетону. Структуру агентної імітаційної моделі показано на рис. 3.

У розробленій імітаційній моделі за допомогою класу активних об'єктів (агентів) реалізовані: бетонний завод (ConcretePlant); замовлення (Order); будівельний майданчик (ConstructionSite); автобетонозмішувач (TruckMixer); постачальник сировини (Supplier); замовлення на сировину (MaterialOrder); вантажівка транспортування сировини (Vehicle). Таким чином, маємо популяцію в потрібній кількості всіх типів агентів. Кожен агент має свої змінні та математичну модель, що описує його поведінку.

Бетонні заводи включають бетонозмішувальну установку, яка складається з витратних ємностей для вихідних матеріалів, дозаторів, бетонозмішувачів і різного допоміжного обладнання; склади основних компонентів бетонної суміші; внутрішньозаводські транспортні технологічні комунікації (конвеєри, цементопроводи, повітроводи та ін.). Для приготування бетонних сумішей застосовують пересувні і стаціонарні бетонозмішувачі циклічної і безперервної дії. Бетонозмішувальні установки циклічної дії з періодично повторюваними технологічними операціями є кращим вибором для підприємств з продукцією багатьох марок.

В нашій моделі агент бетонного заводу представлений моделлю виробничого процесу

(дозування компонентів бетону згідно рецептури для замовлення продукту потрібного типу, змішування бетону, додавання хімікатів/домішок) та має свій автопарк вантажівок. Він характеризується продуктивністю виробництва бетону, розкладом роботи, розміром бункерів та ємностей для зберігання матеріалів, рівнем страхового запасу матеріалів, кількістю автобетонозмішувачів тощо. Відповідно одночасно вирішується задача планування графіків постачання сировини (цемент, пісок, подрібнений камінь, вода, домішки). Імітаційна модель агенту ConcretePlant представлена на рис. 4. У нас немає на меті деталізувати моделювання до рівня обладнання тому ми використали модель на основі системної динаміки, що забезпечує імітацію процесу виробництва з урахуванням наявних запасів матеріалів та продуктивності установки.

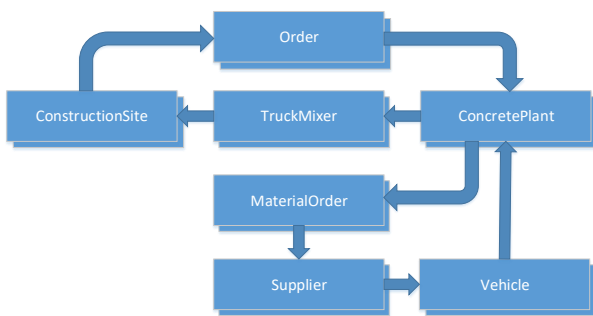


Рис. 3. Структура агентної імітаційної моделі аналізу процесів виробництва та логістики бетону

Агент замовлення представляє інформацію про місце доставки бетону (будівельний майданчик), тип та необхідну кількість бетону для доставки, бажаний час початку (перша доставка). Крім того, агент замовлення

має параметри для накопичення статистики, щодо життєвого циклу виконання замовлення та його статус.

Агент вантажівки характеризується своєю приналежністю до конкретного бетонного заводу, об'ємом барабану, швидкістю руху по дорогах, замовленням, яке він виконує. Важливі також параметри накопичення статистики, а саме: час очікування завантаження, час завантаження, час транспортування до клієнту, час очікування розвантаження у клієнта, час розвантаження, час повернення до заводу, кількість поїздок тощо.

Після завантаження вантажівка не може обслуговувати кілька будівельних майданчиків і має повернутися до заводу після доставки. Дані, що накопичуються в ході моделювання завжди дають можливість побачити стан, в якому знаходиться вантажівка, час очікування завантаження, час доставки бетону до клієнтів, час очікування розвантаження тощо.

Агент будівельного майданчику власне ініціює створення нового замовлення на доставку бетону зазначеного типу, обсягу та термінів доставки. Обслуговується будівельний майданчик найближчим до нього заводом. Агент реалізує дискретно-подієву модель, що описує операції, пов'язані з прийомом, розвантаженням вантажівок, укладкою бетону та додатковим обслуговуванням автобетонозмішувачів (очищення). На даний час моделюються ресурси у вигляді бетононасосів та працівників, розклад їх роботи, а також враховується тип розвантаження. За результатами моделювання накопичується статистика щодо виконання замовлень та фактичній доставки бетону, зайнятості ресурсів на розвантаженні, час очікування розвантаження, показники черги вантажівок на обслуговування тощо.

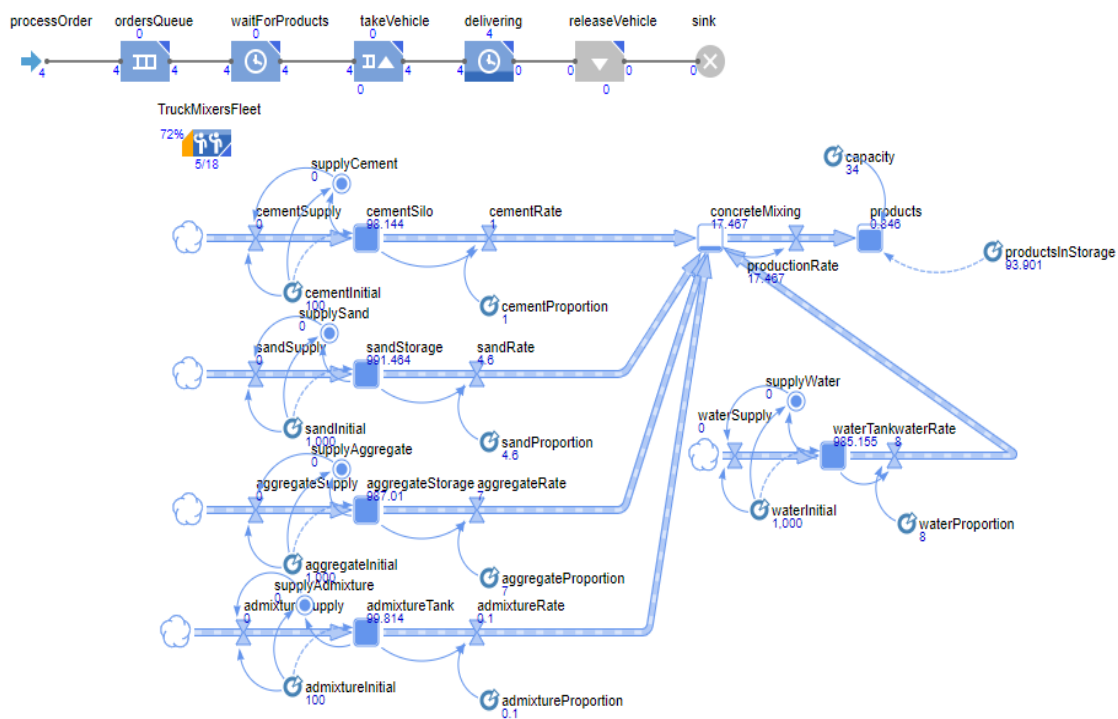


Рис. 4. Імітаційна модель агенту ConcretePlant

Результати моделювання процесів виробництва та логістики бетону. На рис. 5 представлено модель після запуску. Агенти функціонують у просторі геоінформаційної системи OpenStreetMap. Назви початкових місць виробничих потужностей та дистриб'юторів зчитуються з бази даних. Пошукова система геоінформаційної системи використовується для пошуку місць на карті та розміщенні там агентів, що дає можливість гнучко формувати як мережу бетонних заводів так і розподільчу мережу будівельних майданчиків.

Вантажівки рухаються по реальних дорогах, а маршрути створюються, коли транспортні засоби починають рухатися за своїми напрямками. Біля кожного з бетонних заводів можна побачити гістограму обсягу виробленого бетону та кількісний показник вільних вантажівок.

Біля будівельного майданчику бачимо кількісне значення доставленого за весь час бетону та піктограми вантажівок, що знаходяться на майданчику та очікують розвантаження. Натисканням на об'єкти виробництва та будівництва здійснюється перехід до перегляду результатів моделювання.

Модель анімовано, тому можна спостерігати за рухом вантажівок, які рухаються по реальній транспортній інфраструктурі.

Перед завантаженням бетону на кожній установці формується черга автобетонозмішувачів. Після того, як автобетонозмішувач завантажено, він залишає завод і прямує на вказаний будівельний майданчик. Коли автобетонозмішувач прибуває до клієнта, він приєднується до черги з пріоритетом типу FIFO, що гарантує, що перший прибулий автобетонозмішувач

також буде першим розвантажений. Після того, як автобетонозмішувач розвантажено, він залишає ділянку та повертається на свій завод.

Під час моделювання ми відображаємо різні параметри, діаграми та графіки. На рис. 6 представлений екран з результатами, що формуються для окремого бетонного заводу.

Спостерігаючи за процесом моделювання можна побачити основні показники по замовленнях та виробництву, поточні запаси матеріалів та динаміку їх споживання та поставок, виробництво бетону у кількісних показниках та у динаміці виробництва/відвантаження, зайнятість автопарку автобетонозмішувачів, чергу замовлень від клієнтів, список відправлень вантажів клієнтам із зазначенням статусу (вчасно/із запізненням), гістограми розподілу часу очікування продукту та часу на транспортування. Крім того, додані елементи для варіювання параметрів продуктивності заводу та розміру автопарку вантажівок.

На рис. 7 представлені дані маршрутів автобетонозмішувачів, де фіксуються всі часові параметри, що дає можливість в подальшому використати ці дані при формуванні графіків доставки.

Спостерігаючи за процесом моделювання для автобетонозмішувачів можна побачити діаграму станів вантажівки, діаграму Ганта із зазначенням термінів початку та закінчення операцій, гістограми часу очікування завантаження, розвантаження, доставки бетону клієнтам, повернення на завод, а також діаграму станів, що визначає поведінку агента автобетонозмішувача.

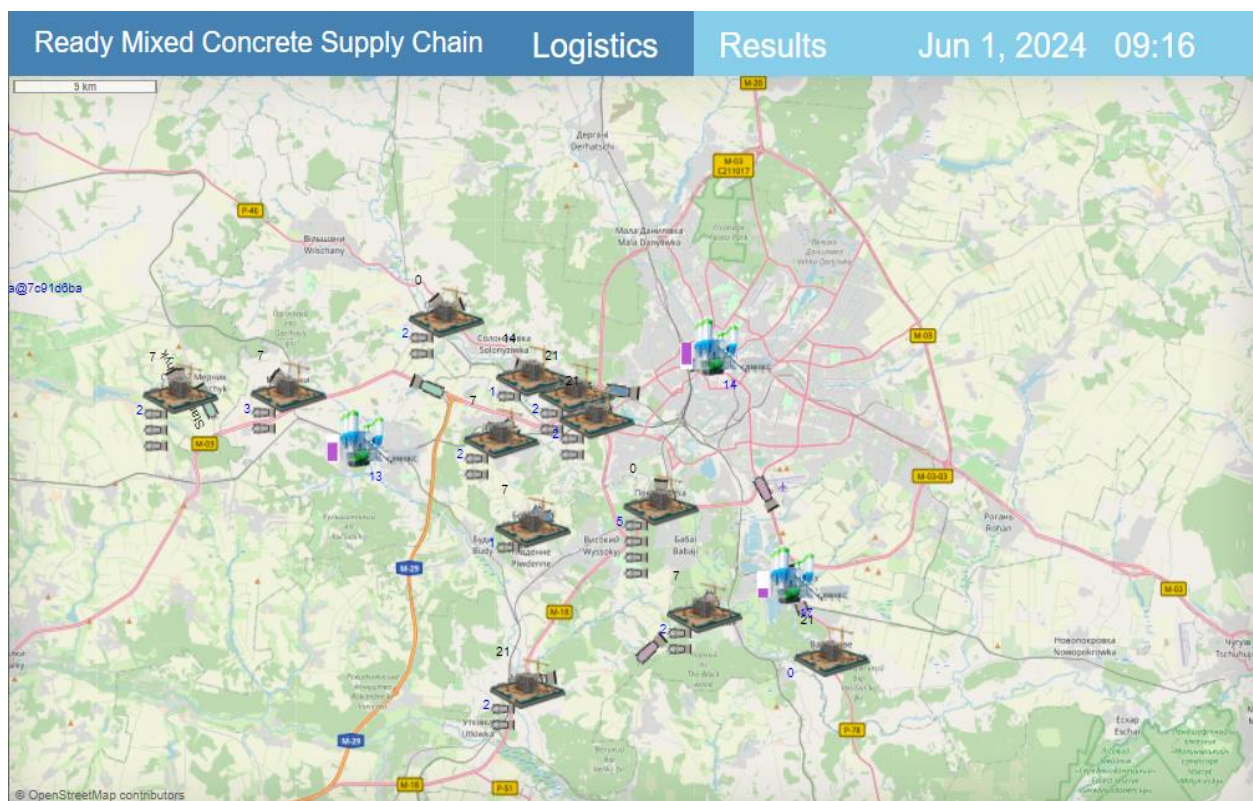


Рис. 5. Спостереження за логістикою доставки бетону при запуску імітаційної моделі

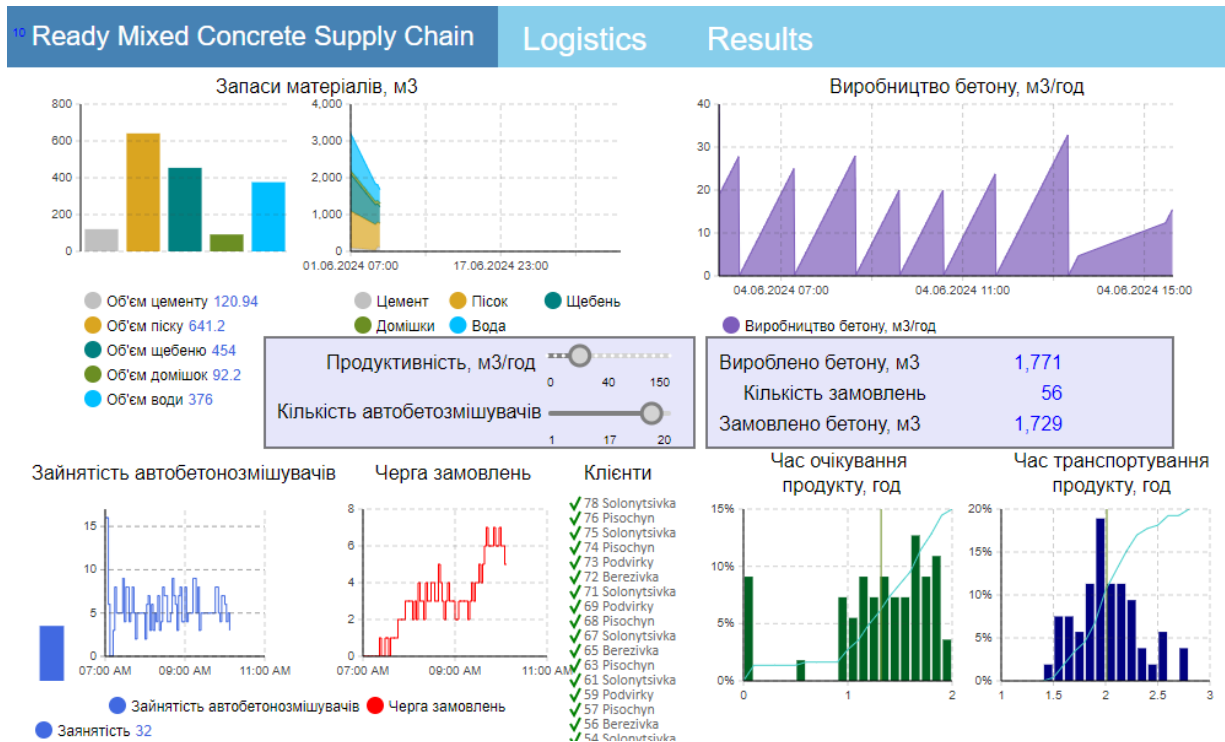


Рис. 6. Результати моделювання для агента ConcretePlant

Також формуються агреговані результати по всій мережі бетонних заводів, де можна побачити поточні показники щодо виробництва бетону, динаміку виробництва, зайнятості автопарку та час очікування продукту.

Пункт призначення	Початок очікування завантаження	Початок доставки	Початок очікування розвантаження	Початок повернення на завод	Час у дорозі до майданчик	Час у дорозі до заводу
Solonytsivka	11.59	0.0	0.0	0.0	0.18	0.19
Podvirky	15.33	0.0	0.0	0.0	0.14	0.15
Berezivka	13.43	0.0	0.0	0.0	0.28	0.27
Berezivka	13.59	0.0	0.0	0.0	0.28	0.27
Berezivka	13.73	0.0	0.0	0.0	0.28	0.27
Berezivka	14.45	0.0	0.0	0.0	0.28	0.27
Pisochyn	10.37	14.94	15.07	0.0	0.13	0.19
Pisochyn	9.83	15.27	15.4	0.0	0.13	0.19
Podvirky	14.82	0.0	0.0	0.0	0.14	0.15
Podvirky	14.62	0.0	0.0	0.0	0.14	0.15
Podvirky	14.22	0.0	0.0	0.0	0.14	0.15
Solonytsivka	12.72	0.0	0.0	0.0	0.18	0.19
Pisochyn	9.97	15.16	15.28	0.0	0.13	0.19
Pisochyn	10.82	15.6	0.0	0.0	0.18	0.19
Solonytsivka	11.91	0.0	0.0	0.0	0.18	0.19
Solonytsivka	12.36	0.0	0.0	0.0	0.18	0.19
Solonytsivka	11.14	0.0	0.0	0.0	0.18	0.19

Рис. 7. Маршрути автобетонозмішувачів заводу та їх часові параметри

Висновки. Таким чином, проведено дослідження багатокритеріального завдання підтримки прийняття рішень для ефективного управління виробництвом готового бетону та планування його доставки до будівельних майданчиків.

Розроблено багаторівневу модель планування виробництва і логістики доставки бетону, що дає змогу вирішувати завдання координації постачань із загальними планами розвитку підприємства. Завдяки її використанню можна здійснювати комплексний аналіз портфеля замовлень і проєктів розвитку виробництва, оцінювати їхню реалізацію на конкретному підприємстві, узгоджувати плани виконання проєктів із загальною стратегією підприємства на різних рівнях, а також обирати замовлення та проєкти для реалізації відповідно до визначених пріоритетів.

Розроблена імітаційна модель може бути корисною на етапі планування та дозволяє точніше прогнозувати тривалість та режими робіт під час виконання виробничих операцій на бетонних заводах та доставки продукції споживачам і, таким чином, корисно впливати на прийняття рішень, прогнозування ходу робіт та кращого управління процесами виробництва та логістики, з метою підвищення продуктивності, скорочення простоїв та зниження витрат.

Сформовані рішення можуть бути корисним інструментом, який допоможе менеджерам, диспетчерам та інженерам бетонних заводів спланувати свою діяльність.

Список літератури

1. Ринок цементу та бетону України: 2023 та прогноз потреб // Readymix – Режим доступу: <https://readymix.pro/rinok-cementu-ta-betonu-ukrayini-2023-ta-prognoz-potreb>. – Дата звернення: 15 січня 2025.
2. Fitriani H., Rizki L. D. Just-in-time application on readymix concrete production. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*. 2022. vol. 9. pp. 1183-1195. DOI: <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2021.876116>.
3. Куліков О. М., Заяц О. В., Оксамитна Л. П. Сучасні підходи до управління портфелями проєктів в галузі дорожнього будівництва. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами: Збірник наукових праць*. 2023. № 1 (7). С. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2023.7.6>.
4. Tzanetos A., Blondin M. Systematic search and mapping review of the concrete delivery problem (CDP): Formulations, objectives, and data. *Automation in Construction*. 2023. vol. 145. article no. 104631. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104631>.
5. Jaisree K. B., Palani B. Supply Chain Management in Construction Projects: A Comprehensive Analysis of the Indian Context - Review. *International Journal of Research and Review*. 2024. vol. 11. no. 1, pp. 298-308. DOI: <https://doi.org/10.52403/ijrr.20240132>.

6. Olugboyega O., Ejohwomu O., Omopariola E. D., Omoregie A. Sustainable Ready-Mixed Concrete (RMC) Production: A Case Study of Five RMC Plants in Nigeria. *Sustainability*. 2023. vol. 15. article no. 8169. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15108169>.
7. Kim T, Kim Y-W. Proactive Production Scheduling Approach for Off-Site Construction with Due Date Uncertainty. *Applied Sciences*. 2024. vol. 14. no. 23, article no. 11017. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142311017>.
8. Семенчук К. Л. Моделювання стратегій ланцюгів постачань у проєктивній діяльності. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами: Збірник наукових праць*. 2024. № 1 (8). С. 58-65. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2024.8.8>.
9. Douaioui K., Benmoussa O., Ahlaqqach M. Optimizing Supply Chain Efficiency Using Innovative Goal Programming and Advanced Metaheuristic Techniques. *Applied Sciences*. 2024. vol. 14. no. 16, article no. 7151. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14167151>.
10. Anastasiu L., Câmpian C., Roman N. Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM). *Buildings*. 2023. vol. 13. no. 5, article no. 1249. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051249>.
11. Forcael E., Contreras C., Francesconi C., Baesler F. Applying Game Theory to Teach the PERT Scheduling Method. *Applied Sciences*. 2024. vol. 14. no. 24, article no. 12045. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142412045>.
12. Vicente J. J. Optimizing Supply Chain Inventory: A Mixed Integer Linear Programming Approach. *Systems*. 2025. vol. 13. no. 1, article no. 33. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13010033>.
13. Matejević-Nikolić B., Živković L. Development of the Simulation Model for Ready Mixed Concrete Supply Chain Cost Structure. *Tehnički vjesnik*, 2023. vol. 30. no. 1. pp. 102-113. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20220310120002>.
14. Buhaievskiy M., Petrenko Y. Simulation of production and logistics for concrete plants. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2024. vol. 2024. no. 3. pp. 190-204. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.3.13>.
15. Kiyko S., Druzhinin E., Prokhorov O., Haidabrus B. Multi-agent Model of Energy Consumption at the Metallurgical Enterprise. *DSMIE 2020: Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. 2020. pp. 156-165. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_16.
- and projects: Collection of scientific papers]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ, 2023. № 1 (7). pp. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2023.7.6>.
4. Tzanetos A., Blondin M. (2023). Systematic search and mapping review of the concrete delivery problem (CDP): Formulations, objectives, and data. *Automation in Construction*. vol. 145. article no. 104631. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104631>.
5. Jaisree K. B., Palani B. (2024). Supply Chain Management in Construction Projects: A Comprehensive Analysis of the Indian Context - Review. *International Journal of Research and Review*. vol. 11. no. 1, pp. 298-308. DOI: <https://doi.org/10.52403/ijrr.20240132>.
6. Olugboyega O., Ejohwomu O., Omopariola E. D., Omoregie A. (2023). Sustainable Ready-Mixed Concrete (RMC) Production: A Case Study of Five RMC Plants in Nigeria. *Sustainability*. vol. 15. article no. 8169. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15108169>.
7. Kim T, Kim Y-W. (2024). Proactive Production Scheduling Approach for Off-Site Construction with Due Date Uncertainty. *Applied Sciences*. vol. 14. no. 23, article no. 11017. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142311017>.
8. Semenchuk K. Modelyuvannya stratehiy lantsyuhiv postachan' u proyeektniy diyal'nosti [Project activities modeling of supply chain strategies] *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy: Zbirnyk naukovykh prats* [Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Strategic management, management of portfolios, programs and projects: Collection of scientific papers]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ, 2024. № 1 (8). – pp. 58-65. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2024.8.8>.
9. Douaioui K., Benmoussa O., Ahlaqqach M. (2024). Optimizing Supply Chain Efficiency Using Innovative Goal Programming and Advanced Metaheuristic Techniques. *Applied Sciences*. vol. 14. no. 16, article no. 7151. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14167151>.
10. Anastasiu L., Câmpian C., Roman N. (2023). Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM). *Buildings*. vol. 13. no. 5, article no. 1249. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051249>.
11. Forcael E., Contreras C., Francesconi C., Baesler F. (2024). Applying Game Theory to Teach the PERT Scheduling Method. *Applied Sciences*. vol. 14. no. 24, article no. 12045. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142412045>.
12. Vicente J. J. (2025). Optimizing Supply Chain Inventory: A Mixed Integer Linear Programming Approach. *Systems*. vol. 13. no. 1, article no. 33. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13010033>.
13. Matejević-Nikolić B., Živković L. (2023). Development of the Simulation Model for Ready Mixed Concrete Supply Chain Cost Structure. *Tehnički vjesnik*. vol. 30. no. 1. pp. 102-113. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20220310120002>.
14. Buhaievskiy M., Petrenko Y. (2024). Simulation of production and logistics for concrete plants. *Radioelectronic and Computer Systems*. vol. 2024. no. 3. pp. 190-204. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.3.13>.
15. Kiyko S., Druzhinin E., Prokhorov O., Haidabrus B. (2020). Multi-agent Model of Energy Consumption at the Metallurgical Enterprise. *DSMIE 2020: Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. pp. 156-165. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_16.

References (transliterated)

1. Rynok tseментu ta betonu Ukrayiny: 2023 ta prohnnoz potreб [Cement and concrete market of Ukraine: 2023 and demand forecast]. *Readymix*. Available at: <https://readymix.pro/rinok-cementu-ta-betonu-ukrayini-2023-ta-prognoz-potreb>. (accessed 15.01.2025).
2. Fitriani H., Rizki L. D. (2022). Just-in-time application on readymix concrete production. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*. vol. 9. pp. 1183-1195. DOI: <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2021.876116>.
3. Kulikov O., Zaiats O., Oksamytna L. Suchasni pidkhody do upravlinnya portfelyamy proyeektiv v haluzi dorozhn'oho budivnytstva [Modern approaches to project portfolio management in the road construction industry]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy: Zbirnyk naukovykh prats* [Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Strategic management, management of portfolios, programs

Надійшло (received) 18.01.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Бугаєвський Михайло Сергійович (Buhaievskiy Mikhailo) – аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; e-mail: bugaevsky73@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9844-3146>.

Петренко Юрій Антонович (Petrenko Yuri) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; e-mail: petrenko.yuriy.an@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4596-8870>.

В. О. БУРЕНКО, С. К. ЧЕРНОВ**СИНТЕЗ ГРУПОВИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ПРОЦЕСІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРОПЕРЕВЕЗЕНЬ**

З кожним роком методи обробки даних щодо міських пасажироперевезень набирають популярності для прийняття рішень щодо організації пасажирських перевезень у «розумному місті», забезпечення ефективності переміщення людей в просторі і часі. Їх актуальність зумовлена зростанням обсягів даних, зміною попиту на кількість та якість необхідних транспортних засобів (ТЗ). Об'єктом дослідження є процес синтезу групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень. Предметом дослідження є принципи вивчення невизначеностей і ризиків, джерелами яких є нерівномірність транспортних потоків, застосування ТЗ різного виду, стан транспортних коридорів і вузлів та ін. Метою дослідження є вирішення проблеми вибору ТЗ для міських пасажироперевезень в умовах багатокритеріальності. У статті вирішуються такі завдання: дослідження особливостей критеріїв вибору різних видів ТЗ для мультимодальних перевезень; одночасне врахування і вирахування, і ризиків на підставі ранжування альтернатив; синтез групових рішень для рішення задачі вибору транспортних засобів з врахуванням кваліфікації експертів. Були використані методи формування колективних експертних оцінок (ЕО) та прийняття рішень на їх основі, прогнозування, оптимізації систем логістики та побудова на цій основі прикладних комп'ютерних систем (КС). У результаті роботи запропонована методика вирішення багатокритеріальної задачі вибору варіантів транспортних засобів для пасажироперевезень на основі методу BOCR, який враховує низку показників якості перевезень, що визначають ефективність останніх. Наукова новизна полягає в обґрунтуванні та оцінюванні порівняльної важливості критеріїв з урахуванням різних форм представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. ЕО) на основі методу групової експертної оцінки та аналізу ієрархій. Досягнуті результати синтезу групових рішень для рішення задачі вибору транспортних засобів в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень мають практичну цінність в оптимізації забезпечення маршрутів ТЗ, прогнозуванні та плануванні попиту на ТЗ за місткістю, номерами маршрутів, власниками, рівнем комфортності та іншими критеріями, а також для досягнення оптимальної продуктивності системи міських пасажироперевезень та покращення якості обслуговування пасажирів завдяки даним з КС «розумне місто».

Ключові слова: міські пасажироперевезення, транспортна логістика, експертні оцінки, умови багатокритеріальності, комп'ютерна система.

V. BURENKO, S. CHERNOV**SYNTHESIS OF GROUP SOLUTIONS FOR SOLVING THE CHOOSING VEHICLES PROBLEM IN THE LOGISTICS SUPPORT PROCESS OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION**

Every year, data processing methods of urban passenger transportation are gaining popularity for decision-making on the organization of passenger transportation in a "smart city", ensuring the efficiency of people's movement in space and time. Their relevance is due to the data volumes, changes in demand for the quantity and quality of necessary vehicles of various types. The object of the study is the process of synthesizing group solutions for addressing the problem of vehicle selection for logistical support of urban passenger transportation. The subject of the study is the principles of studying uncertainties and risks, caused by uneven traffic flows, the use of various types of vehicles, the state of transport corridors and nodes, etc. The purpose of the study is to solve the problem of selecting vehicles for urban passenger transportation in multi-criteria conditions. The following tasks are solved in the article: studying the criteria features for selecting different vehicles for multimodal transportation; simultaneous consideration of both gains and risks based on the ranking of alternatives; group solutions synthesis for choosing a vehicle, taking into account the qualifications of experts. Methods of forming collective expert assessments (EA) and making decisions based on them, forecasting, optimizing logistics systems, and building applied computer systems (CS) on this basis were used. As a result of the work, a method for solving the multi-criteria problem of choosing vehicle options for passenger transportation was proposed based on the BOCR method, which considers several indicators of transportation quality that determine their optimality and efficiency. The scientific novelty lies in the justification and assessment of the comparative importance of criteria, taking into account different forms of representing experts' preferences (fuzzy, point, etc. EA) based on the method of group expert assessment and analysis of hierarchies. The achieved results of the synthesis of group solutions for solving the problem of vehicle selection in the process of logistical support of urban passenger transportation have practical value in optimizing the provision of vehicle routes, forecasting and planning demand for vehicles by capacity, route numbers, owners, comfort level and other criteria, as well as for achieving optimal productivity of the urban passenger transportation system and improving the quality of passenger service due to data from the CS "smart city".

Keywords: urban passenger transportation, transport logistics, expert assessments, multi-criteria conditions, computer system.

Вступ. З кожним роком методи обробки даних щодо міських пасажироперевезень набирають популярності для прийняття рішень щодо організації пасажирських перевезень у «розумному місті», забезпечення ефективності переміщення людей в просторі і часі. Їх актуальність зумовлена зростанням обсягів даних, зміною попиту на кількість та якість необхідних транспортних засобів (ТЗ). Для вирішення задачі вибору ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень можуть бути використані методи формування колективних експертних оцінок (ЕО) та прийняття рішень на їх основі, прогнозування, оптимізації систем логістики та побудові на цій основі прикладних комп'ютерних систем (КС). При цьому

мають бути досліджені невизначеності і ризики, джерелами яких є нерівномірність транспортних потоків, застосування ТЗ різного виду, станом транспортних коридорів і вузлів та ін. Це породжує множину різноманітних задач, таких як дослідження особливостей критеріїв вибору різних видів ТЗ для мультимодальних перевезень; одночасне врахування і вирахування, і ризиків на підставі ранжування альтернатив; синтез групових рішень для рішення задачі вибору ТЗ з врахуванням кваліфікації експертів. Аналіз існуючих моделей і методів прийняття рішень та оптимізації логістичних систем показав, що вони спрямовані або в сторону вибору рішень щодо ризиків, або в сторону вирішення проблеми щодо вирахувань [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки проблемам логістики, зокрема, математичним моделям і методам вирішення задач оптимізації та прийняття рішень присвячено досить багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Так, в роботі [1], розглянуто задачу оптимізації системи логістики в бізнесі з використанням теорії ігор. Роботи [2; 3] присвячені аналізу критеріїв вибору транспортних засобів для мультимодальних перевезень. При організації міських пасажироперевезень функції мультимодальних транспортних вузлів виконують транспортно-логістичні диспетчерські центри і транспортно-логістичні кластери, які все частіше входять до системи «розумне місто» [4]. Вони здійснюють всі основні операції з обробки замовлень і транспортування пасажирів з наданням усіх видів послуг. В роботі [5] розглянуто ймовірнісний підхід до моделювання невизначеностей, які виникають в логістиці.

Досить великий класифікатор математичних методів і моделей в урбаністичній транспортній логістиці представлений в роботі [6]. В роботі [7] розроблена методика, що враховує сім типів специфічних ризиків як різномірних факторів багатокритеріальності. Автори наголошують на доцільності використання груп експертів та їх оцінок для урахування невизначеності в інноваційних процесах, до яких можна віднести й керування пасажиропотоком з використанням обладнання та інформаційних потоків у комп'ютерній системі (КС) «Розумне місто».

У роботі [8] досліджено, як для урахування ризику в інноваційних проєктах може використовуватись концепція інтервально-ймовірнісної невизначеності. В умовах невизначеності виникають проблеми з синтезом групового рішення, в процесі якого необхідно враховувати вподобання експертів та/або компетенції, що необхідні учасникам команди [9], розробляти моделі оцінки та методи відбору персоналу команди проєкту міських пасажирських перевезень [10]. У роботі [11] запропоновано для вирішення проблеми використовувати методологію, засновану на поділі функцій учасників проєкту, а в роботі [9] також визначаються вагові коефіцієнти, що забезпечують точність визначення необхідних компетенцій експертів-членів команди для виконання завдань в проєкті. При цьому треба вирішувати задачі отримання й обробки: індивідуальних і групових одно- і багатокритеріальних оцінок; з урахуванням і без урахування відносної компетентності експертів [12]. У роботі [13] набули подальшого розвитку теоретичні положення групових експертних оцінок на основі метрик з використанням математичного апарату теорії свідомств Демстера-Шефера та кластерного аналізу. Сучасними дослідниками рекомендовано застосовувати кластеризацію також для створення маршрутів із скороченим часом очікування, визначення районів із найвищим попитом на транспорт у певний час, виявлення неефективних маршрутів чи низького завантаження окремих ділянок транспортної

мережі, синтезу рішень відповідно до потреб пасажирів [14].

Таким чином, процедура знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності, розглянута у ряді джерел з акцентом на окремі складові, вирішує певні складові проблеми формування пасажиропотоку та забезпечення міських перевезень відповідним транспортом. Разом з цим необхідно вказати на недостатність аналізу проблеми вибору в умовах багатокритеріальності, що враховує одночасно й облік ризиків і вигащів, але й більш широке коло показників.

Метою статті є дослідження питання одночасного врахування і вигащів, і ризиків на підставі ранжування альтернатив та з врахуванням кваліфікації експертів для вирішення проблеми вибору транспортних засобів для міських пасажироперевезень в умовах багатокритеріальності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення поставлених задач в роботі використано модель *BOCR*: *B* – *Benefits* (Вигоди), *O* – *Opportunities* (Можливості), *C* – *Costs* (Витрати), *R* – *Risks* (Ризики), засновану на методі аналізу ієрархій Т. Сааті [15]. Кожен з чотирьох зазначених аспектів моделі *BOCR* може бути представлений окремою ієрархічною структурою і проаналізований із використанням методу аналізу ієрархій (МАІ).

Застосування МАІ супроводжується виконанням наступних процедур: для кожного аспекту формуються матриці попарних порівнянь [В] між критеріями [К] і між альтернативами [А] щодо кожного з критеріїв з використанням відповідної шкали експертних оцінок (ЕО); визначаються значення власного вектора (С) цієї матриці з подальшим їх нормуванням і визначенням ваг вектора пріоритетів. Далі виконується перевірка узгодженості елементів матриці [В] за допомогою підрахунку відношення узгодженості (ВУ), ВУ не може перевищувати 10 %.

Проблема використання МАІ полягає в тому, що для початкової інформації, яка заснована на множинах факторів і альтернатив рішень, застосування різних модифікацій МАІ призводить до різних результатів [16]. При цьому «істинність» того чи іншого отриманого результату принципово не може бути встановлена на момент прийняття рішення. Тому набули розповсюдження методи парних порівнянь, коли експерт порівнює не всі, а деякі пари об'єктів (альтернатив) в пропонованій йому шкалі. Існує проблема пошуку елемента, який необхідно змінити, щоб підвищити рівень узгодженості матриці попарних порівнянь (МПП).

Ізоморфізм відношень

$$< \text{краще-гірше} > \Leftrightarrow < \text{більше-менше} >, \quad (1)$$

що використовується в теорії прийняття рішень, потребує обов'язкового перетворення інформації в числову форму. У деяких сучасних дослідженнях запропоновано візуалізацію модифікацій МАІ [17], основану на ізоморфізмі виду

< краще-гірше > <=> < вище-нижче >, (2)

який автори вважають більш інтуїтивно зрозумілим, ніж (1). Розвиваючи принцип «чим краща альтернатива, тим вище її розташування», в даній роботі пропонується «вигоди» і «можливості», що підвищують ранг альтернативи, розмістити у чисельнику звичайного дробу. Логічно «витрати» та «ризик», що погіршують альтернативу, розмістити у знаменнику відповідного дробу. Існують радикальні відмінності в рівні впливу показників, що входять у чисельник і знаменник дробу, але запропонований підхід надає результати ранжування, що якісно відповідають прагненням експертного оцінювання.

Тобто, для кожної з розглянутих альтернатив підраховується відношення виду:

$$BOCR = \frac{\text{Вигоди} \times \text{Можливості}}{\text{Витрати} \times \text{Ризики}}. \quad (3)$$

За значенням виразу (3) проводиться остаточний вибір альтернативи або може бути отримано їх ранжування.

Технологія синтезу групових рішень в умовах невизначеності та нечіткості. Задача полягає в синтезі групового рішення, враховуючі різні форми представлення вподобань експертів. Процедура знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності може бути формально представлена у вигляді наступних послідовних етапів, наведених на рис. 1.

Припустимо, що необхідно оцінити деяку множину альтернатив (вхідні дані, блок 2 на рис. 1) методом парних порівнянь. Знаходження групової думки експертів починається з побудови ієрархічної структури проблеми, яка містить декілька рівнів: цілі – критерії – альтернативи (блок 3 на рис. 1). В рамках цього етапу формується множина об'єктів експертизи (альтернатив) $A = \{A_i | i = \overline{1, m}\}$ та множина критеріїв $K = \{K_q | q = \overline{1, s}\}$.

В рамках етапу, відображеного у блоку 4 рис. 1, виконується процес виявлення пріоритетів об'єктів (критеріїв, альтернатив за критеріями). На цьому етапі для групи експертів $E = \{E_j | j = \overline{1, t}\}$ визначаються експертні вподобання $B = \{B_j | j = \overline{1, t}\}$ та складаються матриці парних порівнянь для критеріїв і альтернатив відповідно до всіх встановлених критеріїв.

Після цього розраховується вектор пріоритетів МПП, враховуючи форму представлення оцінок експертами (блок 5).

Сформований експертом E_j профіль B_j відображає його вподобання та представляє його оцінки у вигляді зворотньосиметричної МПП виду (4):

$$B_j = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1i} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & 1 & \dots & b_{2i} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & 1 & \dots & b_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mi} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $b_{ij} = 1/b_{ji}$, $\forall i, j = \overline{1, m}$; b_{ij} – вподобання експертів, сформовані в межах заданої шкали експертних переваг.

Якщо рівень узгодженості ЕО неприйнятний (відповідь «Ні» умовного оператора блоку 6), тоді з групи експертів E виділяється підгрупа з узгодженими оцінками, та всередині цих підгруп експертів виконується пошук об'єднаних оцінок (блок 7), після чого повторюється формування профілів вподобань B (блок 4), доки рівень узгодженості ЕО не стане прийнятним (відповідь «Так» умовного оператора блоку 6). Після цього виконується розрахунок кількісного показника якості кожної з альтернатив множини A (блок 8) на основі виразу:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij},$$

де U_i – кількісний показник якості i -ї альтернативи; w_j – вага j -го критерію; r_{ij} – вага i -ї альтернативи для j -го критерію.

В результаті буде сформовано вектор

$$W = \left\{ W_j \mid j = \overline{1, t} \right\}$$

з кількісними показниками якості кожної альтернативи $W_j = \{U_i^j | i = \overline{1, z}\}$ на основі суджень кожного j -го експерта (блок 9).

Таким чином, у лівій гілці блок-схеми рис. 1 відображено покрокову реалізацію методу МАІ, який використовує лише жорсткі оцінки альтернатив і не враховує можливість невизначеності у висновках експертів. Тобто, при складанні МПП (4) експертам заборонено давати відповіді на кшталт «не знаю» або «не впевнений».

Розглянемо ситуацію, коли експерти або підгрупи експертів $E \Rightarrow \{\{G_1\}, \{G_2\}, \dots, \{G_q\}\}$, ($G_q \subseteq E$, $\{G_q\} = \{E_1, \dots, E_r\}$, $t \geq r \geq 1$), $t = |E|$ висловлюють свої вподобання з використанням різних форм представлення ЕО – нечітких, точкових та ін. ЕО (блок 10).

Наприклад, $E \Rightarrow \{\{G_1\}, \{G_2\}\}$. Експерти групи G_1 , користуючись методом попарного порівняння альтернатив, висловили точкові ЕО W_i та W_j (блок 11).

Експерти групи G_2 сформували нечіткі ЕО W_k та W_p (блок 12). Тобто наявна невизначеність в експертних судженнях, яка може бути представлена, наприклад, у вигляді нечітких та інтервальних чисел з формуванням та виведенням у якості результату вектору кількісних показників якості W^{rez} для кожної альтернативи, що відображає колективну думку групи експертів (блоки 13 та 14) за моделлю BOCR (3).

Таким чином, виконано поєднання методу аналізу ієрархій з перевагами моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень, представлених у шкалах об'єктів нечислового характеру, в умовах багатокритеріальності та складних форм невизначеності. Використаний математичний апарат дозволяє коректно працювати з експертними

свідченнями, сформованими в умовах невизначеності та неузгодженості, а також враховувати різні способи взаємодії експертних свідочств (перетин, об'єднання,

поглинання), що виникають під час виявлення та аналізу експертної інформації.

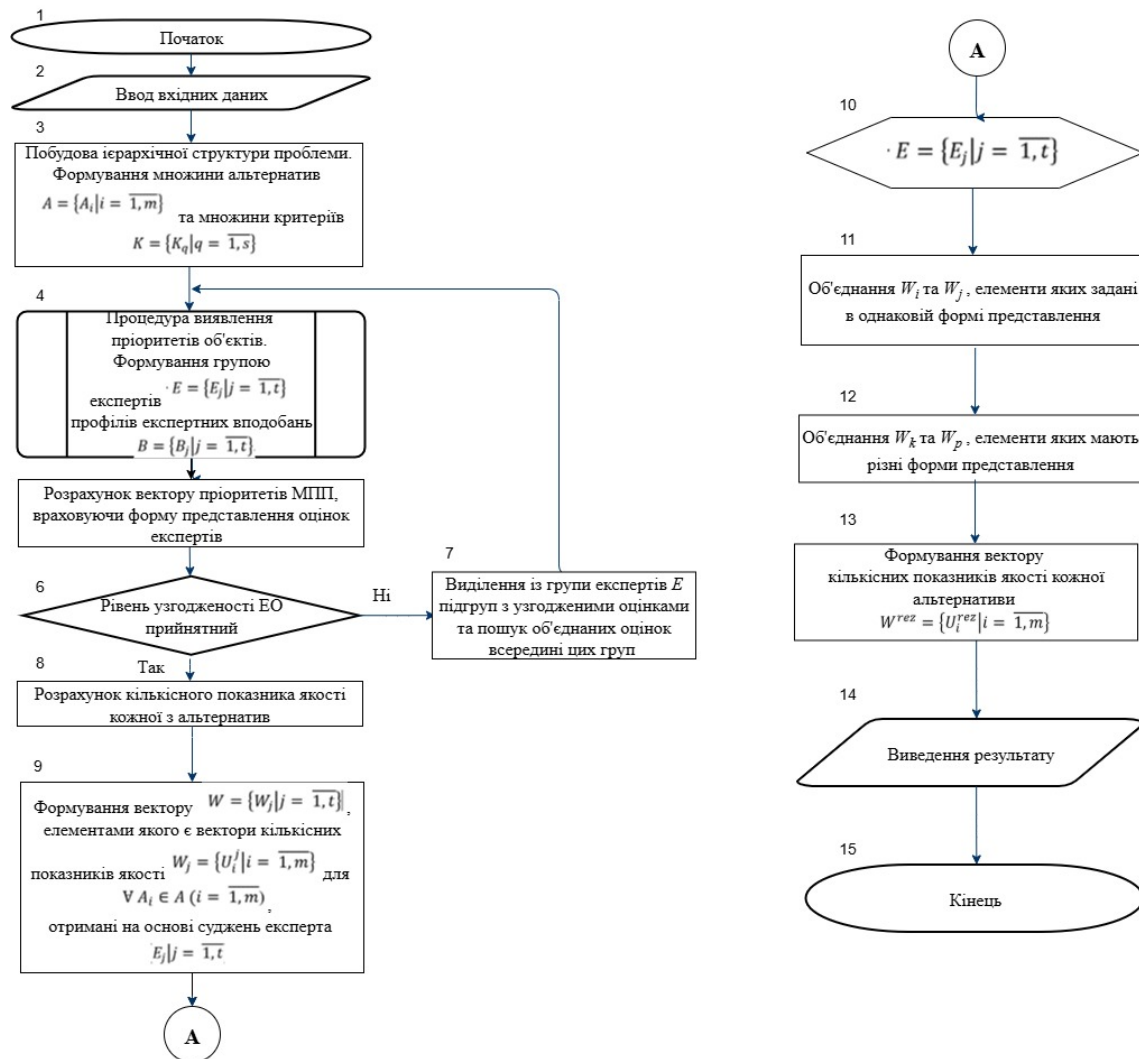


Рис. 1. Блок-схема знаходження групової думки експертів в умовах різних форм невизначеності

Розглянемо приклад вирішення задачі багатокритеріального вибору транспортних засобів міських пасажироперевезень з використанням моделі *BOCR* з урахуванням різних форм представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. ЕО). З цією метою введемо такі позначення:

а) критерії для аспекту «Вигоди»: K_1 – час доставки пасажирів; K_2 – вартість перевезення; K_3 – частота відправлень ТЗ на маршрут; K_4 – місткість ТЗ;

б) критерії для аспекту «Витрати»: K_5 – фінансові вкладення в модернізацію доріг; K_6 – фінансові вкладення в ТЗ; K_7 – вкладення у виробничо-технічну базу транспортних коридорів і вузлів;

в) критерії для аспекту «Можливості»: K_8 – пропускна здатність; K_9 – можливість доставки пасажирів в необхідну точку території; K_{10} – транспортні тарифи; K_{11} – погодні умови;

г) критерії для аспекту «Ризики»: K_{12} – ризик невиконання зобов'язань, пов'язаних із виконанням маршруту; K_{13} – ризик невиконання зобов'язань, пов'язаних із термінами доставки пасажирів.

Як альтернативи, що характеризують види транспорту для пасажироперевезення, виберемо наступні: A_1 – «Автомобіль – Рік випуску (комфорт)»; A_2 – «Автомобіль – Розмір (сидячих місць)»; A_3 – «Автомобіль – Розмір (загальна місткість)». Слід зазначити, що за різними умовами (віддаленості від центру, погоди, наявності «комендантської години» тощо) кінцеве ранжування альтернатив буде суттєво відрізнятися. Але, слід зауважити, що для кожного окремого рішення необхідно розглядати однаковий набір характеристик ТЗ. Хоча, наприклад, рік випуску (рівень комфортності) завжди буде перевагою, але у час пік на маршрутах робітничих перевезень перевагу може набути й місткість – в залежності від рішення експертів.

Крім того, сучасні умови потребують додавати у множину альтернативи, що враховують «інклюзивність» громадського транспорту. За прикладом м. Одеси, такі альтернативи мають окремий графік, який міський департамент транспорту вимушений щомісяця публікувати окремо [19].

Аналогічну роботу починає міська влада міст Миколаєва, Харкова [20]. Як показав аналіз, альтернативи інклюзії на теперішній час поширюються при виборі ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень і в інших містах України, тому доцільно розглядати включення в перелік альтернативи «Автомобіль – Інклюзія (низька підлога, широкі двері)» з метою проведення ЕО. Тому рішення, що пропонуються, будуть набувати актуальності та потребувати подальшого розвитку.

Припустимо, що експертизу проводять два експерти. Експерт Е1 оцінює значимість одного об'єкту експертизи (альтернативи) по відношенню до іншого трикутним нечітким числом (ТНЧ):

$$\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^1, a_{ij}^2, a_{ij}^3), \quad (5)$$

де a_{ij}^1 та a_{ij}^3 відповідно нижня та верхня границі інтервалу, на якому задана нечітка множина $\tilde{a}_{ij}$; a_{ij}^2 – елемент множини $\tilde{a}_{ij}$, для якого функція належності, що відповідає ступеню належності (істинності) елемента a_{ij}^2 до множини a_{ij} , дорівнює «1».

Тоді сукупність оцінок експерта Е1 може бути представлена у формі нечіткої МПП виду:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} (1; 1; 1) & (1; \frac{3}{2}; 2) & (\frac{3}{2}; 2; \frac{5}{2}) & (2; \frac{5}{2}; 3) \\ (\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; 1) & (1; 1; 1) & (1; \frac{3}{2}; 2) & (\frac{5}{2}; 3; \frac{7}{2}) \\ (\frac{2}{5}; \frac{1}{2}; \frac{2}{3}) & (\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; 1) & (1; 1; 1) & (2; \frac{5}{2}; 3) \\ (\frac{1}{3}; \frac{2}{5}; \frac{1}{2}) & (\frac{2}{7}; \frac{1}{3}; \frac{2}{5}) & (\frac{1}{3}; \frac{2}{5}; \frac{1}{2}) & (1; 1; 1) \end{pmatrix}.$$

Визначене у (5) ТНЧ сформоване в рамках вербальної шкали, що виражає ступінь переваги одного елемента над іншим [18] (табл. 1).

Таблиця 1 – Трикутна нечітка шкала

Вербальна шкала	Трикутна нечітка шкала, $\tilde{a}_{ij}$	Трикутна нечітка шкала, $\tilde{a}_{ji} = 1/\tilde{a}_{ij}$
Рівна значимість	(1; 1; 1)	(1; 1; 1)
Певна перевага значимості	(1/2; 1; 3/2)	(2/3; 1; 2)
Слабка значимість	(1; 3/2; 2)	(1/2; 2/3; 1)
Сильна значимість	(3/2; 2; 5/2)	(2/5; 1/2; 2/3)
Дуже висока значимість	(2; 5/2; 3)	(1/3; 2/5; 1/2)
Абсолютна значимість	(5/2; 3; 7/2)	(2/7; 1/3; 2/5)

Для знаходження вектора локальних пріоритетів скористаємось методом Чанга [21].

Результати попарних порівнянь для всіх чотирьох аспектів наведені в табл. 2–9.

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_1 : $r_1 = (0,41; 0,34; 0,25)$;

- за критерієм K_2 : $r_2 = (0,58; 0,42; 0,00)$;

- за критерієм K_3 : $r_3 = (0,76; 0,08; 0,15)$;

- за критерієм K_4 : $r_4 = (0,36; 0,06; 0,58)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,23; 0,24; 0,28; 0,25)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Вигоди»:

$U_1 = \sum_{j=1}^n w_j r_{j1} = 0,54$; $U_2 = 0,22$; $U_3 = 0,24$.

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_5 : $r_5 = (0,21; 0,59; 0,20)$;

- за критерієм K_6 : $r_6 = (0,20; 0,40; 0,40)$;

- за критерієм K_7 : $r_7 = (0,56; 0,34; 0,10)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,40; 0,20; 0,40)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Витрати»:

$U_1 = 0,35$; $U_2 = 0,45$; $U_3 = 0,20$.

Таблиця 2 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Вигоди»

	Критерій K_1			Критерій K_2		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)	(5/2; 3; 7/2)
A_2	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)
A_3	(2/3; 1; 2)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(2/7; 1/3; 2/5)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)
	Критерій K_3			Критерій K_4		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(2; 5/2; 3)	(1; 1; 1)	(2; 5/2; 3)	(2/7; 1/3; 2/5)
A_2	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(1/3; 2/5; 1/2)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)
A_3	(1/3; 2/5; 1/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)	(5/2; 3; 7/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)

Таблиця 3 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_1	K_2	K_3	K_4
K_1	(1; 1; 1)	(1/2; 2/3; 1)	(2; 5/2; 3)	(1/3; 2/5; 1/2)
K_2	(1; 3/2; 2)	(1; 1; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(2/3; 1; 2)
K_3	(1/3; 2/5; 1/2)	(2/3; 1; 2)	(1; 1; 1)	(5/2; 3; 7/2)
K_4	(2; 5/2; 3)	(1/2; 1; 3/2)	(2/7; 1/3; 2/5)	(1; 1; 1)

	Критерій K_5			Критерій K_6		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(1/2; 2/3; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)	(1/3; 2/5; 1/2)
A_2	(1; 3/2; 2)	(1;1;1)	(2; 5/2; 3)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)
A_3	(2/3; 1; 2)	(1/3; 2/5; 1/2)	(1;1;1)	(2; 5/2; 3)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)
	Критерій K_7					
	A_1	A_2	A_3			
A_1	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)	(1/3; 2/5; 1/2)			
A_2	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)			
A_3	(2; 5/2; 3)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)			

	K_5	K_6	K_7
K_5	(1; 1; 1)	(2; 5/2; 3)	(2/5; 1/2; 2/3)
K_6	(1/3; 2/5; 1/2)	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)
K_7	(3/2; 2; 5/2)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)

- за критерієм K_8 : $r_1 = (0,40; 0,20; 0,40)$;

$$w = (0,24; 0,27; 0,23; 0,25).$$

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Можливості»:
 $U_1 = 0,42$; $U_2 = 0,37$; $U_3 = 0,21$.

	Критерій K_{12}			Критерій K_{13}		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	(1; 1; 1)	(1/2; 2/3; 1)	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)	(2/5; 1/2; 2/3)	(2; 5/2; 3)
A_2	(1; 3/2; 2)	(1; 1; 1)	(3/2; 2; 5/2)	(3/2; 2; 5/2)	(1; 1; 1)	(1; 3/2; 2)
A_3	(2/3; 1; 2)	(2/5; 1/2; 2/3)	(1; 1; 1)	(1/3; 2/5; 1/2)	(1/2; 2/3; 1)	(1;1;1)

- за критерієм K_{13} : $r_2 = (0,45; 0,53; 0,02)$.

	K_{12}	K_{13}
K_{12}	(1; 1; 1)	(2/3; 1; 2)
K_{13}	(1/2; 1; 3/2)	(1; 1; 1)

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Ризику»:
 $U_1 = 0,35$; $U_2 = 0,52$; $U_3 = 0,14$.

Витрати:

$$w_{21} = (0,35; 0,45; 0,20);$$

Ризики:

$$w_{41} = (0,35; 0,52; 0,14).$$

Для знаходження вектора локальних пріоритетів скористаємось методом геометричного середнього [22]. Така оцінка є найбільш характерною для шкал відношень [2]:

$$\begin{aligned} (A_{ij}) &= \left[\begin{array}{c} \sqrt[m]{a_{11} \times a_{12} \times \dots \times a_{1m}} = d_1 \\ \sqrt[m]{a_{21} \times a_{22} \times \dots \times a_{2m}} = d_2 \\ \dots \\ \sqrt[m]{a_{m1} \times a_{m2} \times \dots \times a_{mm}} = d_m \end{array} \right] \Rightarrow \\ &\Rightarrow \{D = d_1 + d_2 + \dots + d_m\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left\{ \frac{d_1}{D} = \omega_1; \frac{d_2}{D} = \omega_2; \dots; \frac{d_m}{D} = \omega_m \right\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m). \end{aligned} \quad (6)$$

Результати попарних порівнянь для всіх чотирьох аспектів наведені в табл. 10–17.

Таблиця 10 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Вигоди»

	Критерій K_1			Критерій K_2		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	7	2	1	1/4	8
A_2	1/7	1	5	4	1	6
A_3	1/2	1/5	1	1/8	1/6	1
	Критерій K_3			Критерій K_4		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	3	8	1	6	1/9
A_2	1/3	1	5	1/6	1	2
A_3	1/8	1/5	1	9	1/2	1

Таблиця 11 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_1	K_2	K_3	K_4
K_1	1	1/4	5	1/7
K_2	4	1	3	1/2
K_3	1/5	1/3	1	8
K_4	7	2	1/8	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_1 : $r_1 = (0,64; 0,24; 0,12)$,
- за критерієм K_2 : $r_2 = (0,29; 0,65; 0,06)$;
- за критерієм K_3 : $r_3 = (0,66; 0,27; 0,07)$;
- за критерієм K_4 : $r_4 = (0,27; 0,22; 0,51)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,15; 0,37; 0,20; 0,27)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Вигоди»:
 $U_1 = \sum_{j=1}^n w_j r_{j1} = 0,41$; $U_2 = 0,39$; $U_3 = 0,20$.

Таблиця 12 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Витрати»

	Критерій K_5			Критерій K_6		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/2	6	1	1/5	1/7
A_2	2	1	5	6	1	5
A_3	1/6	1/5	1	7	1/6	1
	Критерій K_7					
	A_1	A_2	A_3			
A_1	1	3	8			
A_2	1/3	1	4			
A_3	1/8	1/4	1			

Таблиця 13 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_5	K_6	K_7
K_5	1	4	1/6
K_6	1/4	1	1/3
K_7	6	3	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_5 : $r_5 = (0,37; 0,55; 0,08)$;
- за критерієм K_6 : $r_6 = (0,07; 0,70; 0,24)$;
- за критерієм K_7 : $r_7 = (0,67; 0,26; 0,07)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв $w = (0,22; 0,11; 0,67)$.

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Витрати»: $U_1 = 0,54$; $U_2 = 0,37$; $U_3 = 0,09$.

Таблиця 14 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Можливості»

	Критерій K_8			Критерій K_9		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	5	2	1	1/6	7
A_2	1/5	1	1/9	6	1	5
A_3	1/2	9	1	1/7	1/5	1
	Критерій K_{10}			Критерій K_{11}		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	3	5	1	1/7	1/9
A_2	1/3	1	6	7	1	3
A_3	1/5	1/6	1	9	1/3	1

Таблиця 15 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
K_8	1	1/4	1/3	6
K_9	4	1	1/2	3
K_{10}	3	2	1	1/5
K_{11}	1/6	1/3	5	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_8 : $r_8 = (0,53; 0,07; 0,40)$;
- за критерієм K_9 : $r_9 = (0,27; 0,70; 0,07)$;
- за критерієм K_{10} : $r_{10} = (0,61; 0,31; 0,08)$;
- за критерієм K_{11} : $r_{11} = (0,06; 0,68; 0,35)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв

$$w = (0,20; 0,37; 0,25; 0,17).$$

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту «Можливості»:
 $U_1 = 0,35; U_2 = 0,47; U_3 = 0,18.$

Таблиця 16 – Результати попарних порівнянь альтернатив для аспекту «Ризику»

	Критерій K_{12}			Критерій K_{13}		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/5	4	1	1/4	6
A_2	5	1	7	4	1	5
A_3	1/4	1/7	1	1/6	1/5	1

Таблиця 17 – Результати попарних порівнянь критеріїв

	K_{12}	K_{13}
K_{12}	1	1/5
K_{13}	5	1

Вектор локальних пріоритетів альтернатив:

- за критерієм K_{12} : $r_{12} = (0,20; 0,72; 0,07)$;
- за критерієм K_{13} : $r_{13} = (0,27; 0,65; 0,08)$.

Вектор локальних пріоритетів критеріїв
 $w = (0,17; 0,83).$

Підрахуємо кількісний індикатор якості кожної альтернативи для аспекту: $U_1 = 0,26; U_2 = 0,66; U_3 = 0,08.$

В результаті сформуємо вектор пріоритетів, отриманий на основі оцінок експерта Е2:

Вигоди:

$$w_{12} = (0,41; 0,39; 0,20);$$

Можливості:

$$w_{32} = (0,35; 0,47; 0,18);$$

Витрати:

$$w_{22} = (0,54; 0,37; 0,09);$$

Ризику:

$$w_{42} = (0,26; 0,66; 0,08).$$

Для отримання групового рішення скористаємось операцією комбінування ЕО (свідомств):

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,54; m_1(A_2) = 0,22; m_1(A_3) = 0,24;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,41; m_2(A_2) = 0,39; m_2(A_3) = 0,20;$$

Аспект «Витрати»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,35; m_1(A_2) = 0,45; m_1(A_3) = 0,20;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,54; m_2(A_2) = 0,37; m_2(A_3) = 0,09;$$

Аспект «Можливості»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,42; m_1(A_2) = 0,37; m_1(A_3) = 0,21;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,35; m_2(A_2) = 0,47; m_2(A_3) = 0,18;$$

Аспект «Ризику»:

$$\text{Експерт 1: } m_1(A_1) = 0,35; m_1(A_2) = 0,52; m_1(A_3) = 0,14;$$

$$\text{Експерт 2: } m_2(A_1) = 0,26; m_2(A_2) = 0,66; m_2(A_3) = 0.$$

Розрахуємо коефіцієнт конфліктності [23; 24]:

$$k_{12} = \sum_{j=1}^3 (m_1(A_j) \sum_{i=1, i \neq j}^3 m_2(A_i)). \quad (7)$$

Аспект «Вигоди»: $k_{12} = 0,65$;

Аспект «Витрати»: $k_{12} = 0,63$;

Аспект «Можливості»: $k_{12} = 0,56$;

Аспект «Ризику»: $k_{12} = 0,56$.

Беручи до уваги досить високий рівень конфлікту, для об'єднання (агрегування) ЕО скористаємось правилом пропорційного перерозподілу конфліктів № 5 (англ. *Proportional Conflict Redistribution Rule, PCR5*), що дозволяє здійснити перерозподіл конфліктних базових мас ймовірності на підмножини, що використані в локальних конфліктах [25; 26]:

$$m_{PCR5}(C) = m_{12}(C) + \sum_{\substack{Y \in D^A\{X\} \\ X \cap Y = \emptyset}} \left[\frac{m_1(X)^2 \times m_2(Y)}{m_1(X) + m_2(Y)} + \frac{m_2(X)^2 \times m_1(Y)}{m_2(X) + m_1(Y)} \right], \quad (8)$$

де $m_{12}(C)$ – комбінована маса ймовірності для підмножини $C = X \cap Y$, що розрахована на основі кон'юнктивного консенсусу.

Результуючі основні маси ймовірності у відповідності до правила PCR5:

- аспект «Вигоди»:

$$m_{12}(A_1) = 0,54; m_{12}(A_2) = 0,29; m_{12}(A_3) = 0,17;$$

- аспект «Витрати»:

$m_{12}(A_1) = 0,49; m_{12}(A_2) = 0,42; m_{12}(A_3) = 0,09;$

- аспект «Можливості»:

$m_{12}(A_1) = 0,40; m_{12}(A_2) = 0,46; m_{12}(A_3) = 0,14;$

- аспект «Ризики»:

$m_{12}(A_1) = 0,26; m_{12}(A_2) = 0,69; m_{12}(A_3) = 0,05.$

Враховуючи отримані значення, побудуємо таблицю відношень BOCR (табл. 18).

Таблиця 18 – Значення відношення BOCR

Альтернативи	A_1	A_2	A_3	Ранжування альтернатив
Вигоди	0,54	0,29	0,17	$A_1 \prec A_2 \prec A_3$
Витрати	0,49	0,42	0,09	$A_1 \prec A_2 \prec A_3$
Вигоди/Витрати	1,10	0,69	1,89	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
Можливості	0,40	0,46	0,14	$A_2 \prec A_1 \prec A_3$
Ризики	0,26	0,69	0,05	$A_2 \prec A_1 \prec A_3$
Можливості/Ризики	1,54	0,67	2,80	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
Вигоди/(Витрати $\times$ Ризики)	4,24	1,00	37,78	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$
BOCR	1,70	0,46	5,29	$A_3 \prec A_1 \prec A_2$

З розгляду табл. 18 видно, що з урахуванням значень розглянутих аспектів перевезень, отриманих в прикладі, кращою є альтернатива A_3 , яка відповідає мультимодальному перевезенню «Автомобіль – Розмір (загальна місткість)».

В роботі [26] наголошено, що правило PCR5 є єдиним правилом, що забезпечує математично обґрунтований пропорційний перерозподіл на підмножини, залучені в локальні конфлікти. Але, при роботі з трьома або більше джерелами інформації (експертами) слід розглянути альтернативи, такі як PCR6, для досягнення оптимальної продуктивності системи [27].

Висновки. Слід зазначити, що задача вибору ТЗ в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень належить до класу задач умовної оптимізації, рішення яких є досить трудомістким, оскільки при збільшенні кількості експертів буде збільшуватись обчислювальна складність. Питання обчислювальної складності в залежності від кількості альтернатив та критеріїв ретельно досліджено в роботі [28]. Коли для підтримки прийняття рішень застосовуються ЕО – що за визначенням є досить грубим наближенням, – недоцільно витрачати потужні обчислювальні ресурси на пошук точного розв'язку. Зважаючи на те, що потокова інформація з ІР камер КС «Розумне місто», перетворена у діаграму яскравості [13], надає не точні чисельні, а лише якісні оцінки наповненості зупинок міського транспорту у різні часи доби, це наближає до можливості використовувати зазначену інформацію в якості вхідних даних для синтезу групових рішень при розв'язанні задачі вибору ТЗ, що необхідно подати у вузлові точки мережі міських транспортних пасажироперевезень.

В статті запропоновано метод вирішення багатокритеріальної задачі вибору варіантів ТЗ для пасажироперевезень. В основі лежить модель BOCR, яка враховує низку якісних показників перевезень, що визначають їх оптимальність і ефективність. Для об'єднання групових ЕО запропонована процедура, що

дозволяє синтезувати колективне рішення, враховуючи різні способи представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. оцінки). Цей підхід моделює невизначеності, які породжуються суперечливими експертними свідченнями, і не накладає жорстких обмежень на спосіб подання ЕО. Таким чином, виконано поєднання методу аналізу ієрархій з перевагами моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень. На відміну від наявних методів, запропонований підхід забезпечує обробку експертних суджень будь-якої структури: узгоджених, еквівалентних, довільних тощо. Він також враховує можливі об'єднання та перетини експертних свідчень.

Список літератури

1. Kostiuk Y. D., Romanenko O. A. Theoretical foundations of urban transport and logistics systems intellectualization. *Economic Innovations*. 2022. Vol. 24, No. 4 (85). P. 60–69. DOI: 10.31520/ei.2022.24.4(85).60-69.
2. Sodenkampa M. A., Tavana M., Caprio D. D. Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation. *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 254. P. 859–874. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.04.015.
3. Ширяєва С. В., Даньківська К. І. Основні складові мультимодальної транспортної мережі. *Вісник Національного транспортного університету. Серія: «Технічні науки»*: наук.-техн. зб. 2015. Вип. 1, № 31. С. 568–573. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/568-573.pdf (дата звернення: 10.05.2025).
4. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердніченко Ю. А., Петриковець О. В., Павлюк Є. І. Сучасні тенденції розвитку мультимодальної системи перевезення вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30, Вип. № 69, Ч. 2, № 3. С. 148–153. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/26.
5. Sarkisian H., Zinevych O., Molyboha R., Dubytskyi O., Pavliuk V. Implementing logistics technologies to optimize road transport flows: Urban planning, traffic capacity, and safety. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. Vol. 9, No. 2. С. 384–394. DOI: 10.55214/25768484.v9i2.4492.
6. Min Z., Gorovyi D. The economical advantages and disadvantages of urban passenger transport modes according to the purposes of urban passenger logistics. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Economic sciences*. 2020. Vol. 4. P. 40–44. DOI: 10.20998/2519-4461.2020.4.40.

7. Kosenko V. V. Method for analyzing and assessing the risk cost of an innovative project. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*. 2019. № 1 (1326). С. 18–23. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1326.3.
8. Шахов А. В., Пітерська В. М. Оцінка ризиків в інноваційних проєктах методом достовірних еквівалентів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*. 2017. № 2 (1224). С. 35–40. DOI: 10.20998/2413-3000.2017.1224.6.
9. Шерстюк О. І., Колесніков О. Є. Використання методу ранжування при формуванні необхідного набору компетенцій команди проєкту. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*. 2018. № 2 (1278). С. 31–37. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1278.5.
10. Шпильовий І. Ф., Маруніч В. С., Вакарчук І. М., Харута В. С. Розробка моделі оцінки та методу відбору персоналу команди проєкту міських пасажирських перевезень. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*. 2016. № 2 (1174). С. 95–98. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1174.21.
11. Грисюк Ю. С., Лабута А. В. Моделювання систем руху інформаційних потоків в програмах розвитку транспорту та логістики. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*. 2014. № 3 (1046). С. 78–84. DOI: 10.20998/2413-3000.2014.1046.11.
12. Тоценко В. Г. Методи та засоби підтримки прийняття рішень. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2007, Т. 9, № 3. С. 98–104. URL: <http://dspac.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50898> (дата звернення: 30.06.2025).
13. Буренко В. О. Групові експертні оцінки обробки інформації в комп'ютерних системах «розумного міста». *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 2 (89). С. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.16>.
14. Мачелюх Ю. Р., Литвин В. В. Метод К-середніх для аналізу даних з організації пасажирських перевезень у розумному місті. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2025. № 1 (31). С. 83–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.1.083>.
15. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. 2nd Ed. Springer, 2013. 564 p.
16. Nedashkovskaya N. I. Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix. *Journal of the Operational Research Society*. 2018. Vol. 69, Is. 12. P. 1947–1956. DOI: 10.1080/01605682.2017.1415640.
17. Колодний В. В., Зубко В. В. Метод та інформаційна технологія ранжування альтернатив на основі візуальних тернарних порівнянь. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2024. № 1. С. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>.
18. Saaty T. L., Wei L. Complete structural functions and connections of the nervous system. *RWS Publications*, 2023.
19. В Одесі оприлюднили розклад інклюзивних міських автобусів на грудень. *Пасажирський транспорт* : вебсайт. Оpubл. 29.11.2024. URL: <https://traffic.od.ua/news/busua/1260839> (дата звернення: 10.07.2025).
20. Автобус. Міські маршрути. Mercedes-Benz O530 Citaro. *Харків транспортний* : вебсайт. Оpubл. 13.06.2025. URL: https://gortransport.kharkov.ua/ps_models/449/ (дата звернення: 18.07.2025).
21. Zhu K.-J., Jing Yu., Chang D. Y. A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*. Feb. 1999. Vol. 116, No. 2. P. 450–456. DOI: 10.1016/S0377-2217(98)00331-2.
22. Saaty T. L., Ozdemir M. S., Cillo B., Vargas L. G., Tavana M. Encyclicons – Dictionaries of complex ANP decision models. *RWS Publications*, 2021. 390 p.
23. Wang S., Zhu X., Shang P., Liu W., Lin X. Two-Echelon Pickup and delivery problem using public transport in city logistics. *Journal of Advanced Transportation*. Aug 2024. ID 1203246. P. 1–22. DOI: 10.1155/2024/1203246.
24. Vinogradova-Zinkevič I. Comparative sensitivity analysis of some fuzzy AHP methods. *MDPI. Mathematics*. Dec. 2023. Vol. 11 (24):4984. DOI: 10.3390/math11244984.
25. Ding J. J., Li L. J., Xu H. B., Lv J. J. Adaptive fusion algorithm with DST and PCR5. *Conference: IET International Radar Conference*, January 2015. DOI: 10.1049/cp.2015.1009.
26. Швед А. В. Розробка методики оцінювання значень функцій належності на основі групової експертизи у методі нечіткого дерева рішень. *Радіoeлектроніка, інформатика, управління*. 2024. № 2. С. 106–116. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-2-11.
27. Desert T., Dezert J., Smarandache F. Improvement of proportional conflict redistribution rules of combination of basic belief assignments. *Journal of Advances in Information Fusion*. 2021. Vol. 16, No. 1. P. 48–73.
28. Горпенко Д. Р., Болтънков В. О. Порівняльний аналіз методів розв'язання оперативних задач транспортної логістики. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2023. Т. 13, № 1–2. С. 34–47. DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34.

References (transliterated)

1. Kostiyuk Y. D., Romanenko O. A. Theoretical foundations of urban transport and logistics systems intellectualization. *Economic Innovations*, 2022, vol. 24, no. 4 (85), pp. 60–69. DOI: 10.31520/ei.2022.24.4(85).60-69.
2. Sodenkampa M. A., Tavana M., Caprio D. D. Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 254, pp. 859–874. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.04.015.
3. Shyriaieva S. V., Dankivska K. I. Osnovni skladovi multimodalnoi transportnoi merezhi [The main components of a multimodal transport network]. *Visnyk Nats. transportnoho un-tu. Seriya: "Tekhnichni nauky"* : nauk.-tekhn. zb. [Bulletin of the National Transport University. Series: "Technical Sciences" : scientific and technical collection.], 2015, vol. 1, no. 31, pp. 568–573. Available at: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/568-573.pdf (accessed: 10.05.2025). [In Ukrainian]
4. Kyrychenko H. I., Strelko O. H., Berdnychenko Yu. A., Petrykovets O. V., Pavliuk Ye. I. Suchasni tendentsii rozvytku multimodalnoi systemy perevezennia vantazhiv [Current trends in the development of the multimodal freight transportation system]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky* [Scientific Notes of the V. I. Vernadskyi TNU. Series: Technical Sciences], 2019, vol. 30, is. 69, part 2, no. 3, pp. 148–153. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/26. [In Ukrainian]
5. Sarkisian H., Zinevych O., Molyboha R., Dubytskyi O., Pavliuk V. Implementing logistics technologies to optimize road transport flows: Urban planning, traffic capacity, and safety. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 2025, vol. 9, no. 2, pp. 384–394. DOI: 10.55214/25768484.v9i2.4492.
6. Min Z., Gorovyi D. The economical advantages and disadvantages of urban passenger transport modes according to the purposes of urban passenger logistics. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Economic sciences*, 2020, vol. 4, pp. 40–44. DOI: 10.20998/2519-4461.2020.4.40.
7. Kosenko V. V. Method for analyzing and assessing the risk cost of an innovative project. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*, 2019, no. 1 (1326), pp. 18–23. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1326.3.
8. Shakhov A. V., Piterska V. M. Otsinka ryzykiv v innovatsiynykh proektakh metodom dostovirnykh ekvivalentiv [Risk assessment in innovation projects using the method of reliable equivalents]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2017, no 2 (1224), pp. 35–40. DOI: 10.20998/2413-3000.2017.1224.6. [In Ukrainian]
9. Sherstiyuk O. I., Kolesnikov O. Ye. Vykorystannia metodu ranzhyruvannia pry formuvanni neobkhidnoho naboru kompetentsii komandy proektu [Using the ranking method when forming the necessary set of project team competencies]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2018, no. 2 (1278), pp. 31–37. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1278.5. [In Ukrainian]
10. Shpylovyy I. F., Marunych V. S., Vakarchuk I. M., Kharuta V. C. Rozrobka modeli otsinky ta metodu vidooru personalu komandy proektu miskykh pasazhyrskykh perevezen [Development of an

- evaluation model and method for selecting personnel for the urban passenger transportation project team]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2016, no. 2 (1174), pp. 95–98. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1174.21. [In Ukrainian]
11. Hrysiuk Yu. S., Labuta A. V. Modeliuvannia system rukhu informatsiinykh potokiv v prohramakh rozvytku transportu ta lohistyky [Modeling of information flow systems in transport and logistics development programs]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management], 2014, no. 3 (1046), pp. 78–84. DOI: 10.20998/2413-3000.2014.1046.11. [In Ukrainian]
 12. Totsenko V. G. Methods and tools for decision support. *Data Recording, Storage & Processing*, 2007, vol. 9, no. 3, pp. 98–104. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50898> (accessed: 30.06.2025). [In Ukrainian]
 13. Burenko V. O. Hrupovi ekspertni otsinky obrobky informatsii v kompiuternykh systemakh «rozumnoho mista» [Group expert assessments of information processing in "Smart City" computer systems]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu* [Bulletin of the Kherson National Technical University], 2024, no. 2 (89), pp. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.16>. [In Ukrainian]
 14. Matseliukh Yu. R., Lytvyn V. V. Application of the K-means clustering method in the organisation of passenger transport in a smart city. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2025, no. 1 (31), pp. 83–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.1.083>. [In Ukrainian]
 15. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. 2nd Ed. Springer, 2013. 564 p.
 16. Nedashkovskaya N. I. Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix. *Journal of the Operational Research Society*, 2018, vol. 69, is. 12, pp. 1947–1956. DOI: 10.1080/01605682.2017.1415640.
 17. Kolodnyi V. V., Zubko V. V. Method and information technology for ranging alternatives based on visual ternary comparisons. *Information technology and computer engineering*, 2024, no. 1, pp. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-59-1-23-31>. [In Ukrainian]
 18. Saaty T. L., Wei L. Complete structural functions and connections of the nervous system. *RWS Publications*, 2023.
 19. V Odesi opryliudnyly rozklad inkluzivnykh miskykh avtobusiv na hruden [Odessa has published the schedule of inclusive city buses for December]. *Pasazhyrskyi transport* [Passenger transport]: web site. Publ. 29.11.2024. Available at: <https://traffic.od.ua/news/busua/1260839> (accessed: 10.07.2025). [In Ukrainian]
 20. Miski marshruty. Mercedes-Benz O530 Citaro [Bus. City routes. Mercedes-Benz O530 Citaro]. *Kharkiv transportnyi* [Kharkiv Transportations]: web site. Publ. 13.06.2025. Available at: https://gortransport.kharkov.ua/ps_models/449/ (accessed: 18.07.2025). [In Ukrainian]
 21. Zhu K.-J., Jing Yu., Chang D. Y. A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, Feb. 1999, vol. 116, no. 2, pp. 450–456. DOI:10.1016/S0377-2217(98)00331-2.
 22. Saaty T. L., Ozdemir M. S., Cillo B., Vargas L. G., Tavana M. Encyclicons – Dictionaries of complex ANP decision models. *RWS Publications*, 2021. 390 p.
 23. Wang S., Zhu X., Shang P., Liu W., Lin X. Two-Echelon Pickup and delivery problem using public transport in city logistics. *Journal of Advanced Transportation*, Aug 2024, ID 1203246, pp. 1–22. DOI: 10.1155/2024/1203246.
 24. Vinogradova-Zinkevič I. Comparative sensitivity analysis of some fuzzy AHP methods. *MDPI. Mathematics*, Dec. 2023, vol. 11 (24):4984. DOI: 10.3390/math11244984.
 25. Ding J. J., Li L. J., Xu H. B., Lv J. J. Adaptive fusion algorithm with DST and PCR5. *Conference: IET International Radar Conference*, January 2015. DOI:10.1049/cp.2015.1009.
 26. Shved A. V. Rozrobka metodyky otsiniuvannia znachen funktsii nalezhnosti na osnovi hrupovoi ekspertyzy u metody nechitkoho dereva rishen [Development of a methodology for estimating membership function values based on group expertise in the fuzzy decision tree method]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia* [Radio electronics, Computer Science, Control], 2024, no. 2, pp. 106–116. DOI 10.15588/1607-3274-2024-2-11. [In Ukrainian]
 27. Desert T., Dezert J., Smarandache F. Improvement of proportional conflict redistribution rules of combination of basic belief assignments. *Journal of Advances in Information Fusion*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 48–73.
 28. Gorpenko D. R., Boltyonkov V. O. Comparative analysis of methods for solving operational problems of transport logistics. *Informatics and mathematical methods in modeling*, 2023, vol. 13, no. 1–2, pp. 34–47. DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34. [In Ukrainian]

Надійшла (received) 13.02.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Буренко Володимир Олександрович (Burenko Volodymyr Oleksandrovych) – магістр з комп'ютерних наук, PhD-студент за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв; e-mail: volodymyr.burenko22@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0862-5879>

Чернов Сергій Костянтинович (Chernov Serhii Kostiantynovych) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління проектами, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв; e-mail: 19chsk56@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9069-0409>

А. С. ГОРЛОВ, С. Є. ГАРДЕР, В. П. БОНДАРЕНКО, В. О. БУБНОВ, В. О. КОЛБАСІН, І. В. СЕРДЮК

МОДЕЛЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЕФЕКТИВНОГО ТА РАЦІОНАЛЬНОГО ВІДШТОВХУВАННЯ КВАЛІФІКОВАНИХ ЛЕГКОАТЛЕТІВ-СТРИБУНІВ У ДОВЖИНУ

Мета роботи – дослідження і обґрунтування найважливіших критеріїв оцінки індивідуальної техніко-фізичної підготовленості кваліфікованих чоловіків-стрибунів у довжину. У дослідженнях брали участь 19 легкоатлетів-стрибунів у довжину високої кваліфікації, які в 2018 і 2019 тренувальних роках брали участь в змаганнях чемпіонатів України з легкої атлетики серед дорослих спортсменів. Реєстрація біомеханічних характеристик техніки стрибків в довжину проводилася за допомогою швидкісної відеозйомки, обробленої в комп'ютерній програмі відеоаналізу «Kinovea», а також комп'ютерної біомеханічно-технологічної системи «OptoJump» і показників електронно-оптичної системи «Старт-фініш». Результати досліджень – складені моделі множинної лінійної регресії між спортивним результатом кваліфікованих спортсменів і кінематичними параметрами індивідуальної техніки стрибунів у довжину. Для оцінки статистичної достовірності моделі використаний коефіцієнт детерміації (R^2). Оцінка статистичної значущості коефіцієнтів моделі показала, що два з шести коефіцієнтів можуть вважатися відмінними від нуля (значимі). Це коефіцієнти при чинниках «швидкість спортсмена перед відштовхуванням» і «довжина шляху проходження загального центру маси тіла (ЗЦМТ) в момент здійснення відштовхування».

Ключові слова: діагностика, кінематичні характеристики, індивідуальні показники, техніко-фізична ефективність, критерій раціональної організації рухів.

A. HORLOV, S. HARDER, V. BONDARENKO, V. BUBNOV, V. KOLBASIN, I. SERDIUK

MODELING OF INDIVIDUAL TECHNIQUES FOR EFFECTIVE AND RATIONAL PUSHING OF QUALIFIED LONG JUMPERS

The aim of the study was to investigate and substantiate the most important criteria for assessing the individual technical and physical fitness of skilled male long jumpers. The study involved 19 highly skilled long jumpers who participated in the Ukrainian Athletics Championships for adult athletes in 2018 and 2019. The biomechanical characteristics of the long jump technique were recorded using high-speed video recording, processed in the Kinovea video analysis computer program, as well as the OptoJump computer biomechanical and technological system and the Start-Finish electronic-optical system. The results of the research are composite models of multiple linear regressions between the athletic performance of qualified athletes and the kinematic parameters of individual long jump techniques. The coefficient of determination (R^2) was used to assess the statistical reliability of the model. Assessment of the statistical significance of the model coefficients showed that two of the six coefficients can be considered non-zero (significant). These are the coefficients for the factors 'athlete's speed before push-off' and «pathlength of passing (GCMB) in the moment of realization of pushing away».

Keywords: diagnostics, kinematics descriptions, individual indexes, technical and physical efficiency; criterion of rational organization of motions.

Вступ. Позитивна динаміка світових рекордів до 1991 року в стрибках в довжину у чоловіків, коли на Чемпіонаті світу в Токіо був зафіксований результат Майкла Пауэла (США) 8,95 м, зупинилася і ось вже більше 34 років не покращується. Ще довше зберігається 37-річний рекорд України, встановлений в 1988 році Сергієм Лаевским – 8,35 м. Сучасний світовий рекорд серед юнаків кубінського стрибуну в довжину Майкла Мейсо (8,28 м) з одного боку захоплює, а з іншого насторожує і ставить під сумнів планомірність і спадкоємність якісної перспективної підготовки молодих спортсменів на різних етапах багаторічного удосконалення [1, 2]. Не достатньо ефективна індивідуальна підготовка легкоатлетів-чоловіків високої кваліфікації України в горизонтальних стрибках згубно відбивається на можливості формування національної збірної команди на різних міжнародних змаганнях. Представлені дослідження критерія щодо раціональної організації рухів (КРОР) стрибуну у довжину в фазі відштовхування та його використання для індивідуальної техніко-фізичної підготовленості кваліфікованих спортсменів-чоловіків.

В спорті вищих досягнень практично вичерпаний ресурс підвищення дальності стрибків за рахунок збільшення швидкості розгону. Причому, швидкість, що демонструється спортсменами в «гладкому» бігу

наблизилася до межі людських можливостей. Це обумовлено тим, що темпи приросту спортивних досягнень поступово убувають по експоненті. А це, у свою чергу, означає, що в спорті вищих досягнень практично вичерпаний ресурс підвищення дальності стрибків за рахунок збільшення швидкості розгону. Отже, подальший прогрес слід зв'язувати з вдосконаленням техніки виконання спортсменами завершальної частини розгону та фази відштовхування, а також частково польоту і приземлення [1, 4, 5].

Безспорно, висока швидкість бігу спортсмена є необхідною умовою успішного виконання горизонтальних стрибків, бо вона створює передумови для більш високої швидкості вильоту. Проте, практика показує, що чинник досягнення стрибком критерія оптимально-максимальної швидкості (КОМШ) розбігу перед відштовхуванням є первинним, але все-таки недостатнім. Вирішальне значення грає вже не лише сама швидкість розбігу, але також і уміння спортсмена виконувати стрибок при мінімальній її втраті у фазі відштовхування.

Виникає необхідність додаткового переосмислення ефективності контролю за техніко-фізичною майстерністю з урахуванням акцентування уваги не на одному, а хоча б двох точних біомеханічних критеріях, які зможуть визначати цю ефективність. На жаль, в практиці спортивної підготовки формування

техніко-фізичної майстерності нерідко здійснюється без урахування індивідуальних особливостей біомеханічної структури рухових дій та визначається розрахунковим коефіцієнтом із показників оптимальної швидкості розбігу перед відштовхуванням і довжини стрибка [4, 6, 8]. Нерідко в практиці змагальної діяльності кваліфікованих стрибунів з'являються питання – «Кому віддати перевагу з двох спортсменів, що показали однаковий результат змагань і приблизно рівну швидкість перед відштовхуванням»? Відповідь криється в обґрунтуванні оптимізації поєднання швидкості стрибку перед відштовхуванням з раціональною для цієї швидкості організацією рухів у процесі відштовхування. Це створює стратегічну перспективу вдосконалення і діагностики багаторічної підготовки кваліфікованих спортсменів [3, 7, 9]. Відсутність в науково-методичній літературі переконливого обґрунтування такої оптимізації посприяла проведенню цих досліджень у стрибунів у довжину високої кваліфікації.

Мета роботи. Дослідження і математичне обґрунтування найважливіших критеріїв оцінки індивідуальної техніко-фізичної підготовленості кваліфікованих легкоатлетів-стрибунів у довжину чоловіків.

Матеріали і методи.

Учасники. У дослідженнях брали участь 19 стрибунів у довжину фіналістів національних змагань

зимового та літнього чемпіонатів України 2018 і 2019 року. Кваліфікаційний рівень учасників дослідження за результатами цих фінальних змагань досяг: майстер спорту України і міжнародного класу – 2, майстер спорту України – 6, кандидат у майстри спорту України – 6, перший розряд дорослих спортсменів – 5 стрибунів.

Методи дослідження. Реєстрація часових кінематичних характеристик техніки стрибків в умовах змагання проводилася за допомогою електронно-оптичної системи «Старт-фініш»: фіксувався час подолання останніх двох 5-метрових ділянок перед відштовхуванням (10-5 м і 5-0 м). Результати вимірів за допомогою радіоканального зв'язку поступали і архівувалися в електрохронометрі (рис. 1). Ці результати потім уточнювалися стосовно розрахункових показників, отриманих комп'ютерною біомеханічно-технологічною системою «OptoJump» [5, 10]. Кутові просторові і просторово-часові кінематичні показники змагальної діяльності кваліфікованих стрибунів, такі як довжина горизонтальної проєкції переміщення ЗЦМТ стрибку в процесі відштовхування, кут вильоту, початкова швидкість вильоту і максимальна висота підйому центру мас спортсмена в польотній фазі були отримані за допомогою швидкісної цифрової відеозйомки (фотокамера «FinePix HS20EXR») і оброблені в комп'ютерній програмі відеоаналізу «Kinovea» та графічного редактора «Corel-DRAW» (див. рис. 1).



Рис. 1. Електронно-оптична система «старт-фініш» (час затримки вихідного сигналу від моменту перетинання променю – менш ніж 0,001с); цифрова фотокамера Fine-Pix HS20EXR

Такі показники, як коефіцієнт реалізації швидкості в розбігу, коефіцієнт техніко-фізичної майстерності стрибунів були отримані розрахунковим шляхом.

Хід дослідження. На першому етапі досліджень були проаналізовані карти педагогічного контролю та самоконтролю щодо тестування абсолютної швидкості у кваліфікованих стрибунів на передодні зимових чемпіонатів України 2018 та 2019 року – це години бігу на відрізку дистанції 20 м з ходу (20-10 м і 10-0 м). Виконувався порівняльний аналіз оптимально-максимальної швидкості перед відштовхуванням з абсолютною швидкістю спортсменів, а також проводився математичний розрахунок коефіцієнта реалізації швидкості (Кр.) у стрибунів-фіналістів у розбігу за допомогою показників швидкості на ділянках 10-5м і 5-0м під час проведення зимових змагань чемпіонатів України по легкій атлетиці за формулою 1:

$$K_p = V_{(10-0\text{ м})} / V_{10\text{ м з/х}} \quad (1)$$

де $V_{(10-0\text{ м})}$ – швидкість стрибунів на відрізку дистанції 10 м перед відштовхуванням; $V_{10\text{ м з/х}}$ – абсолютна швидкість спортсменів, відповідно тестування 10 м з ходу.

Власні інструментальні дослідження проводились у складі комплексної наукової групи (КНГ) Федерації легкої атлетики України. Показники часу і швидкості розбігу стрибунів перед відштовхуванням на ділянках 10-5м і 5-0м були продубльовані науковцями КНГ сучасною комп'ютерною біомеханічно-технологічною системою «OptoJump», які були надруковані у звітному виданні (рис. 2) [10]. За формулою 2 для кожного стрибун-фіналіста двох зимових чемпіонатів України були підраховані коефіцієнти техніко-фізичної майстерності (КТФМ). Усі показники щодо тесту максимальної швидкості стрибунів, їх оптимально-максимальної швидкості і часу розбігу на відрізках 10-5 м і 5-0 м, а також коефіцієнту реалізації абсолютної швидкості і коефіцієнту техніко-фізичної майстерності спортсменів були зведені в таблицю 1.

$$КТФМ = R / V_{(10-0\text{ м})} \quad (2)$$

де: R – результат дальності стрибка в довжину з розгону (м); $V_{(10-0\text{ м})}$ – оптимально-максимальна швидкість стрибуна поперед відштовхування (м/с).

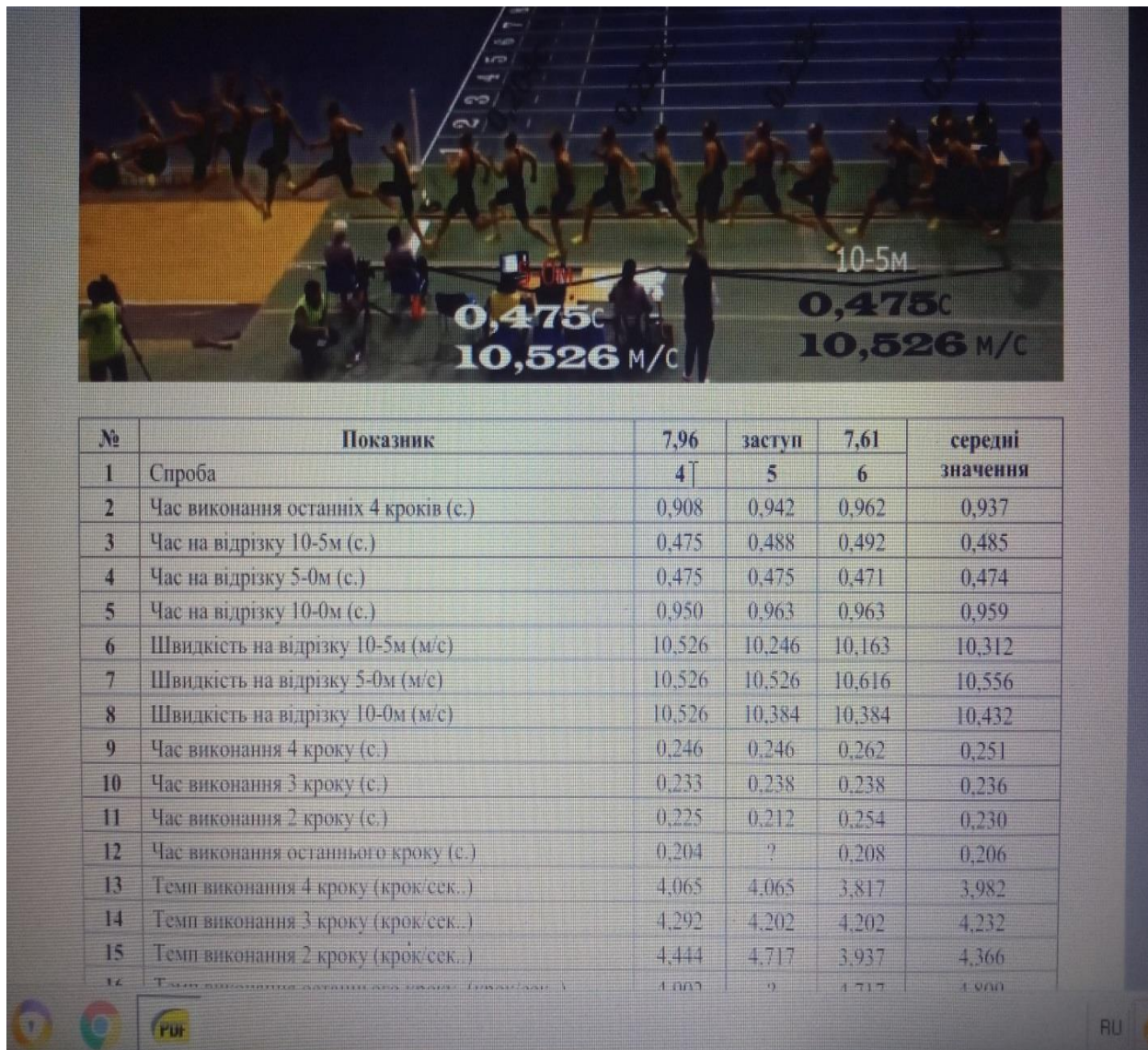


Рис. 2. Індивідуальні показники (кращі спроби) фіналіста зимового чемпіонату України з стрибків у довжину, які зафіксовані за допомогою сучасної комп'ютерної біомеханічно-технологічної системи «OptoJump».

Таблиця 1 – Біомеханічні показники змагальної діяльності провідних стрибунів у довжину України у 2018 та 2019 рр.

Результати стрибків, м	Час на останніх відрізках розбігу, с			Швидкість на останніх відрізках розбігу, м/с			Тест бігу 10 м з/х, с (V_{max})	Реалізація швидкості в розбігу, у.о.	КТФМ, у.о.
	10-5м	5-0 м	10-0м	10-5 м	5-0 м	10-0 м $V_{(10-0м)}$			
7,60	0,520	0,519	1,039	9,615	9,634	9,620	10,583	9,909	0,790
7,45	0,521	0,530	1,051	9,597	9,434	9,514	10,512	0,905	0,783
7,41	0,517	0,543	1,060	9,671	9,208	9,431	10,420	0,905	0,786
7,31	0,548	0,523	1,071	9,124	9,560	9,330	10,332	0,903	0,784
7,32	0,532	0,533	1,065	9,398	9,380	9,389	10,409	0,902	0,780
7,13	0,543	0,543	1,086	9,208	9,208	9,208	10,322	0,892	0,774
7,56	0,528	0,517	1,045	9,469	9,671	9,570	10,562	0,906	0,790
7,03	0,548	0,565	1,113	9,124	8,850	8,983	10,115	0,888	0,782
7,05	0,555	0,555	1,110	9,009	9,009	9,009	10,122	0,890	0,782
7,36	0,527	0,537	1,064	9,487	9,311	9,395	10,404	0,903	0,783
7,67	0,534	0,499	1,033	9,363	10,020	9,680	10,638	0,910	0,792
6,79	0,559	0,581	1,140	8,944	8,605	8,765	9,948	0,881	0,775
7,22	0,540	0,540	1,080	9,259	9,259	9,259	10,276	0,901	0,780
7,00	0,535	0,571	1,106	9,345	8,755	9,050	10,168	0,890	0,773
8,06	0,493	0,493	0,986	10,141	10,141	10,141	10,834	0,936	0,795
7,88	0,507	0,508	1,015	9,861	9,842	9,848	10,810	0,911	0,800
8,13	0,500	0,478	0,978	10,000	10,460	10,230	10,850	0,942	0,795
8,23	0,485	0,483	0,968	10,309	10,352	10,326	10,892	0,948	0,797
6,84	0,566	0,568	1,134	8,834	8,803	8,818	9,986	0,883	0,776

На другому етапі досліджень із протоколів фінальних змагань були вибрані кращі спроби у спортсменів, на підставі яких були зроблені скріншоти стрибків у фазі відштовхування і польоту. В комп'ютерній програмі відеоаналізу «Kinovea» та графічного редактора «Corel-DRAW» були розраховані та отримані для кожного стрибуну фінальних змагань наступні результати: швидкість поперед відштовхування (м/с), початкова швидкість вильоту (м/с), кут вильоту (град.), горизонтальна проекція просування ЗЦМТ на опорі при відштовхуванні (см), максимальна висота взльоту стрибуну в фазі польоту (см). Цифрові дані були занесені у таблицю 2.

Заздалегідь до проведення числових розрахунків, стосовно використання методу найменших квадратів, усі дані наводилися до загальної розмірності м (метр), м/с (метр за секунду), град. (градус): а) досягнута швидкість стрибуну перед відштовхуванням (**Vot**) –

м/с; б) початкова швидкість вильоту (**Vn**) – м/с; в) кут вильоту (**Alfa**) – град; г) горизонтальне просування ЗЦМТ на опорі при відштовхуванні (**Gp**) – см; д) висота взльоту (**Hp**) – м; е) результат стрибка (**Rez**) – м.

Результати дослідження та їх обговорення.

На основі вивчення інформаційних джерел встановлено, що питання організації спортивних рухів все частіше і частіше почали розглядатись не лише в зарубіжній але й вітчизняній науковій літературі. Відкриття і визнання нами для спортивної науки і практики критерію раціональної організації рухів (КРОП) стрибуну в довжину в процесі відштовхування спирається на глибокий науковий розгляд біомеханіки спортивних рухів в одній із статей Я. Ланко і В. Гамалія [11]. У статті проаналізовані і узагальнені теоретичні дані про реалізацію біомеханічних принципів організації переміщаючих рухів у спорті с метою їх практичного використання в повсякденній тренерській

практиці. Біомеханічні принципи – загальні умови організації координаційної структури рухів – базуються на закономірностях фізики і біології. У кожній окремій групі рухів (переміщуючі, локомоторні, оберталні та ін.) існують свої, тільки для цієї групи характерні принципи їх організації, від реалізації яких залежить ефективність виконання усієї

дії. Відносно переміщуючих рухових дій актуальними є принципи генерування імпульсу механічної енергії, використання енергії пружної деформації м'язово-сухожильних структур, передачі імпульсу, збільшення шляху додатка сили, збереження стійкості, зниження лінійного і обертового імпульсу [11, 12, 13].

Таблиця 2 – Основні біомеханічні показники змагальної діяльності кваліфікованих стрибунів у довжину України в 2019 та 2020 рр. (n=19)

№ n/ч	Результат стрибка, Rez_м	Швидкість перед відштовхуванням, Vot_{м/с}	Початкова швидкість вильоту, Vn_{м/с}	Кут вильоту, Alfa град.	Горизонтальна проекція просування ЗЦМТ на опорі при відштовхуванні, Gp_{см}	Висота взльоту, Hp_{см}
	Y	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅
1	7,60	9,620	8,980	18,0	79,9	39,7
2	7,45	9,514	8,834	19,0	68,7	43,9
3	7,41	9,431	8,781	25,0	74,6	44,3
4	7,31	9,330	8,620	18,5	83,9	32,0
5	7,32	9,389	8,699	22,0	69,0	39,4
6	7,13	9,202	8,472	20,0	69,5	35,4
7	7,56	9,570	8,900	19,5	75,8	48,1
8	7,03	8,983	8,253	20,0	90,8	40,2
9	7,05	9,004	8,374	18,7	87,3	40,4
10	7,36	9,395	8,805	20,2	73,7	42,6
11	7,67	9,681	8,981	18,3	71,8	48,7
12	6,79	8,860	7,730	20,4	80,0	19,6
13	7,22	9,251	8,551	18,0	83,0	33,7
14	7,00	9,040	8,340	13,5	82,5	41,0
15	8,06	10,133	9,503	19,9	70,0	43,8
16	7,88	9,848	9,198	21,8	87,3	48,5
17	8,13	10,221	9,641	18,8	67,0	44,0
18	8,23	10,326	9,766	18,3	67,4	43,2
19	6,84	8,818	7,818	17,8	78,9	42,0

Наприклад, в основі принципу збільшення шляху додатка сили лежить співвідношення між механічною роботою і енергією ($\Delta E = F \cdot s$): щоб змінити механічну енергію тіла (ΔE), необхідно збільшити або прикладену силу (F), або шлях (s), на якому сила діє на тіло. Матеріали статті спираються на наукові дослідження цього питання на прикладі легкоатлетичних метань, але актуальність розглядання проблеми існування раціональної організації рухів спортсменів криється не тільки в легкоатлетичних метаннях, але й легкоатлетичних стрибках. У стрибках сила F , що поступається і долає режими при відштовхуванні, також генерує роботу та енергію, як і при виконанні легкоатлетичних метань. Зміна механічної енергії ΔE тут діє по тих же принципах, як при метанні гранати або спису. У стрибках у довжину раціональні переміщуючі технічні рухи починаються і продовжуються з моменту постановки ноги на брусок відштовхування до моменту останньої миті тримання ноги на опорі. Критерієм раціональної організації рухів стрибунів являється довжина горизонтальної проекції шляху переміщення ЗЦМТ стрибуну на опорі. Згідно принципу збереження стійкості рівноваги для ефективного виконання рухів, які пов'язані з різкою зміною напрямку або швидкості, потрібна велика площа опори, хороше зчеплення з поверхнею опори і стійке положення тіла (статична і динамічна рівновага) [5, 11].

В роботі представлені дані теоретичних досліджень біомеханічних принципів організації переміщуючих рухів в легкоатлетичних стрибках в довжину чоловіків-стрибунів високої кваліфікації. Мета досліджень полягає в тому, щоб тренери і спортсмени почали частіше звертати увагу не тільки на досягнення оптимально-максимальної швидкості перед відштовхуванням, але й на раціональний і ефективний процес організації рухів в процесі відштовхування. Щоб, при однакових умовах, рівень майстерності стрибунів у довжину високої кваліфікації розглядався з позиції кращої досяжності спортсменом обох критеріїв майстерності – КОМШ і КРОР [1, 5, 7, 8].

Розглядаючи і розраховуючи біомеханічні показники та деякі коефіцієнти змагальної діяльності провідних стрибунів у довжину України 2018 та 2019 років, а також ті показники фінальної частини розбігу, які визначають якість процесу відштовхування, можна вже і без додаткових досліджень зрозуміти про недостатній рівень підготовленості українських стрибунів. Так наприклад, з 19 спортсменів фіналістів двох чемпіонатів України завершили змагання в стрибках у довжину з наступним кваліфікаційним рівнем: звання майстра спорту міжнародного класу (МСМК) – 3 стрибуну (15,8%), майстра спорту України (МСУ) – 3 стрибуну (15,8%), кандидата в майстри

спорту України (КМСУ) – 7 стрибунів (36,8%), першого спортивного розряду – 6 стрибунів (31,6%). Таким чином, якість виконання стрибків міжнародного рівня разом з двох чемпіонатів України 2018 і 2019 рр. склала всього 15,8%.

Якщо розглянути біомеханічні показники оптимально-максимальної швидкості стрибунів перед відштовхуванням на цих двох чемпіонатах України стосовно ділянок розбігу 10-5 м і 5-0 м, то кращі результати (швидкість зростає або залишається оптимально високою до початку відштовхування) зафіксовані у 10 спортсменів. Якість виконання фінальної частини розбігу стрибунів складає 52,6%. А якщо проаналізувати коефіцієнти реалізації максимальної бігової швидкості стрибунів-фіналістів змагань до оптимально-максимальної швидкості їх власного розбігу перед відштовхуванням, то у 64,8% стрибунів коефіцієнти відповідають значенням, що належать спортсменам високої кваліфікації, але для багатьох з них ще має місце резерв покращення. Більш вагомим показником щодо рівня підготовленості українських стрибунів-чоловіків у довжину можуть бути і показники оцінки їх техніко-фізичної майстерності: з оцінкою «відмінно» – відсутність стрибунів; з оцінкою «добре» – 8 стрибунів (42%); з оцінкою «задовільно» – 11 стрибунів (58%); з оцінкою «не задовільно» – відсутність стрибунів (див. табл. 1).

В роботі проведена математико-статистична обробка цифрового матеріалу таблиці 2 з метою – визначення залежності результату стрибка у кваліфікованих спортсменів від змінних показників: швидкості стрибуну перед відштовхуванням (**Vot**), початкової швидкості вильоту (**Vn**), кута вильоту (**Alfa**), горизонтального просування ЗЦМТ на опорі при відштовхуванні (**Gp**), висоти взльоту стрибуну (**Hp**), результату стрибка (**Rez**), а також визначити ті змінні, які мають найбільший вплив на результат.

1. Чисельні розрахунки

Чисельні розрахунки проведено серед програмування MathCad. Застосовано метод

множинної лінійної регресії з *покроковим включенням факторів в модель регресії* [12,17]. Це дозволяє відібрати з набору змінних найбільш суттєві, які найбільш впливають на якість моделі.

На першому етапі методом найменших квадратів послідовно будувалися всі можливі лінійні регресійні залежності результату від двох факторів таблиці 2. Так як факторів 5, то число таких регресій дорівнювалось $C_5^2 = 10$: використовувався метод найменших квадратів для побудови залежностей

$$Y(X_1, X_2); Y(X_1, X_3); Y(X_1, X_4); Y(X_1, X_5); Y(X_2, X_3); Y(X_2, X_4); Y(X_2, X_5); Y(X_3, X_4); Y(X_3, X_5); Y(X_4, X_5);$$

Для кожної регресії оцінювалися:

$$\begin{aligned} & \text{коefficient детермінації } \hat{R}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \\ & \text{дисперсія адекватності } \sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \end{aligned}$$

де y_i – результат з таблиці 2, $\hat{y}_i$ – результат згідно рівняння регресії

Відбиралася та двох факторна регресія для якої $\hat{R}^2$ найбільший.

У таблиці 3 наведено результати розрахунку $\hat{R}^2$ та σ^2 регресійної залежності результату від двох факторів виду

$$Rez = \theta_0 + \theta_1 \times \Phi_i + \theta_2 \times \Phi_j,$$

де $\theta_0, \theta_1, \theta_2$ – коефіцієнти моделі, Φ_i, Φ_j – фактори (змінні)

На перетині рядків та стовпців з назвами факторів цієї таблиці 3 наведено розрахункові значення для відповідної пари факторів, жирним шрифтом виділено найбільше значення.

Таблиця 3 – Дослідження двохфакторних залежностей. Перше число – коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2$, друге число – дисперсія адекватності σ^2

Регресійні фактори	Vot		Vn		Alfa		Gp		Hp	
	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2
Vot	—	—	0,941	0,115	0,941	0,115	0,946	0,110	0,947	0,109
Vn	0,941	0,115	—	—	0,886	0,160	0,886	0,160	0,908	0,144
Alfa	0,941	0,115	0,886	0,160	—	—	0,447	0,352	0,429	0,368
Gp	0,946	0,110	0,880	0,160	0,447	0,352	—	—	0,575	0,309
Hp	0,947	0,109	0,908	0,144	0,429	0,368	0,575	0,309	—	—

Найкраща регресійна залежність $Rez = \theta_1 \times \text{Vot} + \theta_2 \times \text{Hp}$ ($R^2 = 0,947$; $\sigma^2 = 0,109$) – помічена жирним шрифтом. фактори Vot та Hp забезпечують найбільший коефіцієнт детермінації та найменше значення дисперсії адекватності, тобто найкращий регресійний опис.

На другому етапі до двох найбільш інформативних факторів (Vot и Hp) додається по черзі третій фактор [16]. Можна побудувати, очевидно, три регресії: (Vot + Hp + Vn), (Vot + Hp + Alfa), (Vot + Hp + Gp).

Результати розрахунків наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Дослідження трьохфакторних залежностей. Перше число – коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2$, друге число – дисперсія адекватності σ^2

Регресійні фактори	Vot + Hp+ Vn		Vot + Hp+ Alfa		Vot + Hp+ Gr	
	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2
	0,944	0,109	0,944	0,109	0,947	0,109

На третьому етапі до трьох найбільш інформативних факторів (Vot+ Hp+Gr) додається *по черзі* четвертий фактор. Можна побудувати, очевидно, дві регресії: (Vot+Hp+Gr+Vn) і (Vot + Hp+ Gr+Alfa). Результати розрахунків приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Дослідження чотирьохфакторних залежностей

Регресійні фактори	Vot + Hp+ Gr+Vn		Vot + Hp+ Gr+Alfa	
	$\hat{R}^2$	σ^2	$\hat{R}^2$	σ^2
	0,944	0,113	0,943	0,112

Регресія для п'яти факторів: Vot+Hp+Gr+Alfa+Vn, $\hat{R}^2=0,940$, $\sigma^2=0,116$. Додавання четвертого, а потім і п'ятого факторів-чинників знижують точність розрахунків.

Висновок. Найбільший вплив на результат стрибка оказують три фактори:

- швидкість перед відштовхуванням (Vot);
- горизонтальна проекція пересування ЗЦМТ на опорі при відштовхуванні (Gr);
- висота взльоту стрибуну (Hp);

Регресія по цих змінних дає найбільше значення коефіцієнта детермінації і найменшу залишкову дисперсію (дисперсію адекватності): $\hat{R}^2=0,947$; $\sigma^2=0,109$.

Статистичний аналіз трьохфакторної моделі (Vot + Gr + Hp)

Рівняння лінійної регресії:

$$Rez = -2.12 + 0,954 \cdot Vot + 0,474 \cdot Gr + 0,415 \cdot Hp \quad (1)$$

Коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2=0,953$.

Коефіцієнт детермінації *скоректований на число ступенів свободи*:

$$R_{kor}^2 = 1 - \left(1 - R^2\right) \frac{n-1}{n-k} = 0,947.$$

Залишкова дисперсія (дисперсія адекватності) $\sigma^2=0,109$.

Коефіцієнти регресії та коефіцієнт детермінації значущі на рівні значущості $\alpha=0,05$.

Кореляційна матриця змінних з таблиці 2:

	Vot	Gr	Hp
Vot	1	0,658	0,638
Gr	0,658	1	0,559
Hp	0,638	0,559	1

Рис.3 – Кореляційна матриця змінних, що входять до моделі

Видно, що змінні від яких залежить дальність стрибка, показують помірні парні коефіцієнти кореляції. можна припустити,

Порівняння розрахунків за регресійною моделлю (1) з найкращим та найгіршим результатами змагань (табл.2) наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Порівняння результатів змагань з розрахунками по регресійній моделі

	Vot	Gr	Hp	Результат на змаганнях Rez _{зм}	За моделлю Rez _м = -2.12 + 0,954•Vot + 0,474•Gr + 0,415•Hp	похибка $\delta = \frac{Rez_{зм} - Rez_{м}}{Rez_{зм}} \cdot 100\%$
найкращий	10,04	0,939	0,470	8,23	8,1313	0,012
найгірший	8,63	0,773	0,204	6,54	6,793	0,235

Дискусія. У проведених дослідженнях аналіз техніко-фізичної майстерності у кваліфікованих стрибунів в довжину, фіналістів двох чемпіонатів України 2018 і 2019 рр. виявив, що середнє статистичний показник КТФМ на групу з 19 спортсменів складає $0,785 \pm 0,029$. Він відповідає верхній межі задовільної оцінки (див. табл. 1). Про ефективність техніко-фізичної майстерності стрибунів в довжину тренери і фахівці судять по-різному. Одні покладають надію на посилення критерію оптимально-максимальної швидкості (КОМШ) розбігу стрибуну перед відштовхуванням, інші на посилення у спортсмена силового компонента, треті на посилення і того, та іншого разом узятих. Довгі роки основна стратегія в підготовці стрибунів в довжину будувалася виходячи з аксіом «кращий спринтер – кращий стрибун». Таке твердження безспірно є справедливим,

оскільки висока швидкість розбігу створює умови досягнення у стрибуну і оптимально високої швидкості вильоту. Проте стрибуни будь-якої кваліфікації, що мають приблизно однаковий рівень підготовленості, досягають успіху в змаганнях не лише за рахунок швидкості розбігу, але і високого рівня спеціальної технічної підготовки. Це дає можливість стрибунам міцно відштовхуватись і при цьому більше зберігати горизонтальної швидкості для початкової швидкості вильоту [8, 9, 14, 15].

З метою дослідження і обґрунтування найважливіших критеріїв оцінки індивідуальної техніко-фізичної підготовленості кваліфікованих стрибунів в довжину України в цій роботі математично була доведена кількісна міра, раніше нами запропонованого для розгляду, критерію раціональної

організації рухів (КРОР) стрибунів в процесі відштовхування.

У цих дослідженнях при рішенні головної статистичної задачі міри впливу окремих кінематичних показників індивідуальної техніки рухів у кваліфікованих стрибунів у довжину на спортивний результат, була побудована математична модель. Для оцінки статистичної достовірності моделі використаний коефіцієнт детермінації. Встановлено, що найбільший вплив на результат роблять три чинники: швидкість стрибунів перед відштовхуванням, горизонтальна проекція пересування ЗЦМТ на опорі у фазі відштовхування та висота взльоту стрибунів у фазі польоту. Формула регресії, по якій можна моделювати результати змагальної діяльності у кваліфікованих спортсменів стосовно їх індивідуальної підготовленості: $Rez = -2.12 + 0.954 \cdot V_{ot} + 0.474 \cdot G_p + 0.415 \cdot H_p$, з похибками, що дорівнюють $\delta = 0.012\%$ – для трьох кращих результатів; $\delta = 0.235\%$ – для трьох гірших результатів (табл. 3-5).

Висновки.

1. На підставі узагальнення результатів змагальної діяльності, власних карт самоконтролю спортсменів, а також п'ятьох головних кінематичних показників у фіналістів стрибунів в довжину двох (зимового і літнього) чемпіонатів України 2018 і 2019 рр. виникли питання, рішення яких дозволило організувати подальші дослідження в напрямках: вектору вдосконалення індивідуальної техніко-фізичної підготовленості кваліфікованих стрибунів в довжину чоловіків; теоретико-практичних обґрунтувань найважливіших критеріїв раціональної і ефективної підготовленості провідних стрибунів України, а також пошуку біомеханічного моделювання, як засобу ефективнішого і раціональнішого управління індивідуальною підготовкою висококваліфікованих легкоатлетів-стрибунів в довжину.

2. Аналіз показників змагальної діяльності у стрибунів в довжину з розбігу високої кваліфікації, фіналістів двох українських чемпіонатів відмітив наступні слабкі місця: 1) із загальної кількості 19 спортсменів досягли виконання якісного результату на рівні майстрів спорту міжнародного класу (МСМК) і майстрів спорту України (МСУ) тільки 31,6% стрибунів; 2) оптимально-максимальна швидкість на останніх 10 м розбігу зростає чи залишається досяжною тільки у 52,6% стрибунів; 3) коефіцієнти реалізації максимальної швидкості у розбігу, які характеризують рівень високої кваліфікації спортсменів, були розраховані тільки для 64,8% стрибунів; 4) коефіцієнти техніко-фізичної майстерності (КТФМ) розраховані були для фіналістів двох чемпіонатів України тільки на оцінки «добре» і «задовільно» відповідно, як 42% і 58%; на оцінку «відмінно» і «незадовільно» результати були відсутні.

3. Проведена статистична оцінка параметрів діагностики 5-ти найважливіших кінематичних, а також протокольних результатів змагальної діяльності кваліфікованих українських стрибунів в довжину з оцінкою їх точності. Математико-статистичний аналіз

міри впливу кінематичних показників у спортсменів-стрибунів в довжину показав достатньо високий коефіцієнт кореляції між швидкістю стрибунів перед відштовхуванням і максимальною висотою взльоту ЦМ стрибунів в фазі польоту (0,658). Коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2 = 0.947$ засвідчує про задовільну якість моделі, яка складається з трьох факторів: швидкості стрибунів перед відштовхуванням, проекції горизонтального переміщення ЗЦМТ спортсмена при відштовхуванні в опорному періоді та висоти взльоту стрибунів в польотній фазі: $Rez = -2.12 + 0.954 \cdot V_{ot} + 0.474 \cdot G_p + 0.415 \cdot H_p$. (оцінка статистичної значущості коефіцієнтів на рівні $\alpha = 0.05$).

4. Запропонована математична модель, яка має найбільший вплив на спортивний результат спортсменів, та за допомогою якої можна визначати раціональність і ефективність процесу відштовхування у висококваліфікованих легкоатлетів-стрибунів. В теорії легкоатлетичного спорту повторно виконана спроба математичного обґрунтування критерію раціональної організації рухів (КРОР) стрибунів в довжину в процесі відштовхування. Актуальність цього критерію дуже вагома при оцінці техніко-фізичної майстерності стрибунів високої кваліфікації. Оцінка ефективності КРОР стрибунів достовірно підтверджується довжиною шляху проекції горизонтального переміщення ЗЦМТ спортсмена на опорі в процесі відштовхування.

Список літератури

- Horlov A.S., Garder S.E., Horlov O.A., Bleschunova E.N. Influence of kinematics parameters of individual technique of motions for youths-jumpers in length on a sporting result: *Health, sport, rehabilitation*. 2019 (5)3. №3. С. 25. Фахові видання «Б». Індексація в базах: Index Copernicus, (ICV2018= 100), PBN, Google Академія, NBUV.
- World Athletics. All-time top lists: long jump, men. URL: <https://www.iaaf.org/records/all-time-toplists/jumps/long-jump/outdoor/men>
- Golubtsov A. *The preparation of high class sportsmen in horizontal jumps*. Kyiv: Printed "PRINTXPRESS", 2000. 116 p.
- Горлов А.С., Гращенкова Ж.В. Вплив індивідуальної техніки відштовхування на ефективність спортивного результату юнаків-стрибунів у довжину: *Abstracts of the 5th International scientific and practical conference The world of science and innovation (December 9-11. 2020)*. Cognum publishing house / London: United Kingdom. 2020. Pp. 363-372.
- Горлов А.С. *Теоретико-методичні основи вдосконалення діагностики і управління індивідуальною підготовленістю юних легкоатлетів-спринтерів і стрибунів у довжину: монографія*. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. С. 71; 97-106; 258.
- Ward-Smith A. J. Calculation a long jump performance by numerical integration of the equations of motion. *J. Biomech. Eng.* 1106: 1984. Pp. 244-248.
- Горлов А., Гардер С., Бубнов В. Ефективність моделювання раціональної техніки відштовхування у кваліфікованих легкоатлетів-стрибунів у довжину. *Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти: Матер. V Міжн. наук. - практ. конф., 16-17 квітня 2025 р.* / ред. кол. А. В. Кіпенський, [та інші]. Харків: 2025. С. 203-207: укр. та англ. мовами.
- Горлов А.С., Гращенкова Ж.В. Модель раціональної організації рухів стрибунів в довжину в процесі відштовхування: / *Зб. тез наук. доп. XX Міжн. науково-практ. конф. «Фізична культура, спорт і здоров'я: Стан, проблеми та перспективи», 17-18 грудня 2020 р.* Харків: ХДАФК, 2020. С. 49-50.
- Колот А.В., Коробенко В.А. Динаміка показників структури технічної підготовленості стрибунів в довжину із зростанням спортивної кваліфікації // *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання та спорту: наукова монографія* за ред. проф. С.С. Єрмакова. Харків: ХДАДМ, 2002. С. 70-74.

10. *Результати біомеханічного аналізу змагальної діяльності у стрибкових дисциплінах на основних національних змаганнях з легкої атлетики 2018-2019 років*: Ел. публікація ФЛАУ (КНГ). Харків: Громадська спілка «Легка атлетика України» (департамент збірних команд), 2020. С. 13-18; 61-60.
11. Лагунін О. Є., Білоусова С. В. *Статистика: підручник*. - К.: Центр навчальної літератури, 2005. - 608 с.
12. Ланко Я., Гамалій В. Теоретичні і практичні аспекти реалізації біомеханічних принципів в організації переміщуючих рухів в спорті. *Наука в олімпійському спорті*. К.: 2017. №2. С. 56-58.
13. Lanka J. Shot putting. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 435-457.
14. Lanka J, Konrads A, Shalmanov A. *Evaluation methodology for assessing the effectiveness of sports techniques*. In: *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Beijing, China; 2006. p. 202-206.
15. Polocin A. Speed of running approach or technician of jump. *Track – and – field*. 2000. № 4. Pp. 27-28; 32.
16. Yang Jin Tian, Sutula W.A. Long jump Technology Tends to Be of Patterns. *Unity, Friendship and Progress of Humanity through University Short*. Beijing. 2001. Pp. 227.
17. Бабак В.П. і др *Статистична обробка даних*. МІВВЦ, Київ, 2001. – 388 с
- lehoatletiv-strybuniv u dovzhynu [Effectiveness of modeling rational take-off technique in qualified long jump athletes]. In: *Zdorov'ya natsiyi i vdoskonalennya fizkul'turno-sportyvnoi osvity: Proc. of the 5th Int. Sci.-Pract. Conf. (Apr. 16–17, 2025)*. [National Health and Improvement of Physical Education: Mater. V International Scientific - Practical Conference, April 16-17, 2025.] Kharkiv, 2025, pp. 203–207.
8. Horlov A. S., Hrashchenkova Zh. V. Model ratsional'noyi orhanizatsiyi rukhiv strybuna v dovzhynu v protsesi vidshtovkhuвання [Model of rational movement organization of a long jumper during take-off]. In: *Physychna kultura, sport i zdorov'ya: Stan, problemy ta perspektyvy: Proc. of the 20th Int. Sci.-Pract. Conf. (Dec. 17–18, 2020)*. [Collection of theses of the 20th International Scientific and Practical Conference "Physical Culture, Sports and Health: State, Problems and Prospects", December 17-18, 2020]. Kharkiv, KhDAFK Publ., 2020, pp. 49–50.
9. Kolot A. V., Korobenko V. A. Dynamika pokaznykiv struktury tekhnichnoyi pidhotovlenosti strybuniv v dovzhynu iz zrostanniam sportyvnoi kvalifikatsii [Dynamics of technical training structure indicators in long jumpers with increasing qualification level]. In: *Pedagogika, psykholohiya ta med.-biol. problemy fiz. vykhovannya ta sportu: nauk. monohrafiya* [Pedagogy, psychology and medical and biological problems of physical education and sports: scientific monograph] / ed. by S. S. Yermakov. Kharkiv, KhDADM Publ., 2002, pp. 70–74.
10. *Rezultaty biomekhanichnoho analizu zmahal'noyi diyal'nosti u strybkovykh dysyplinakh na osnovnykh natsional'nykh zmahannyakh z lehoyi atletyky 2018–2019 rokiv* [Results of biomechanical analysis of competitive activity in jumping disciplines at major national athletics competitions 2018–2019]. Kharkiv, Athletics Federation of Ukraine (NTU), 2020, pp. 13–18, 61–60.
11. Lahunin O. Ye., Bilousova S. V. *Statystyka: pidruchnyk* [Statistics: textbook]. Kyiv, Tsentr navchal'noyi literatury Publ., 2005. 608 p.
12. Lanko Ya., Hamaliy V. Teoretychni i praktychni aspekty realizatsiyi biomekhanichnykh pryntsyv v orhanizatsiyi peremishchayuchykh rukhiv v sporti [Theoretical and practical aspects of applying biomechanical principles in organizing locomotor movements in sports]. *Nauka v olimpiys'komu sporti* [Science in Olympic sports]. Kyiv, 2017, no. 2, pp. 56–58.
13. Lanka J. Shot putting. In: Zatsiorsky V. M., ed. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford, Blackwell Science Ltd., 2000, pp. 435–457.
14. Lanka J., Konrads A., Shalmanov A. *Evaluation methodology for assessing the effectiveness of sports techniques*. In: *Proc. of the XXIII Int. Symp. on Biomechanics in Sports*. Beijing, China, 2006, pp. 202–206.
15. Polocin A. Speed of running approach or technician of jump. *Track and Field*. 2000, no. 4, pp. 27–28, 32.
16. Yang Jin Tian, Sutula W. A. Long jump technology tends to be of patterns. In: *Unity, Friendship and Progress of Humanity through University Short*. Beijing, 2001, p. 227.
17. Babak V. P. et al. *Statystychna obrobka danykh* [Statistical data processing]. Kyiv, MIVTS Publ., 2001. 388 p.

Надійшла (received) 23.02.2025.

Відомості про авторів / About the Authors

Горлов Анатолій Серафимович (Horlov Anatoliy) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент Національного університету мистецтв імені І. П. Котляревського, м. Харків, Україна; e-mail: gorlovas@ukr.net; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2161-4602>.

Гардер Сергій Євгенійович (Harder Serhii) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: sergey.garder@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9055-3255>.

Бондаренко Віктор Петрович (Bondarenko Victor) – старший викладач Полтавського державного аграрного університету, м. Полтава, Україна; e-mail: viktor.bondarenko@pdau.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4643-941X>.

Бубнов Володимир Олександрович (Bubnov Volodymyr) – старший викладач Львівського державного університету фізичної культури імені І. Баберського, м. Львів, Україна; e-mail: vab33@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8778-1158>.

Колбасін Владислав Олександрович (Kolbasin Vladyslav) – старший викладач кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Vladyslav.Kolbasin@khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0835-2712>.

Сердюк Ірина Василівна (Serdiuk Iryna) – доцент НТУ «ХПІ», доцентка кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail: Iryna.Serdiuk@khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1143-9145>.

В. В. МОСКАЛЕНКО, Н. Г. ФОНТА, В. А. КОСЕНКО, А. О. САЛО, Ю. А. КІРПІЧЕВ

БІЗНЕС-ПРОЦЕС ПОБУДОВИ USER STORY MAPPING З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто актуальну проблему розробки User Story Mapping у проєктах розробки програмних продуктів за гнучкою методологією SCRUM. Ринковий успіх програмного продукту забезпечується повним оволодінням менеджером продукту (Product Manager) методами управління проєктами та управління продуктами, техніками бізнес-аналізу, інструментами досягнення лідерства на IT-ринку та залежить на пряму від вчасного виконання і реалізації проєктів, професійності команди, правильного розуміння та чіткого представлення бачення продукту, ефективних комунікацій тощо. Наведено обґрунтування використання інструментів та технік бізнес-аналізу у роботі усіх стейкхолдерів проєкту щодо розробки програмного продукту. Наведені документи, які розроблені провідними міжнародними організаціями, які займаються питаннями акумулювання знань бізнес-аналізу у сфері IT та в управлінні проєктами. Доведено, що для ефективної роботи бізнес-аналітика та для проведення аналізу володіння продуктом (Product Ownership Analysis) менеджером продукту необхідним інструментом є User Story Mapping. User Story Mapping також допомагає команді розробників та іншим стейкхолдерам у створенні та наданні виняткових продуктів і послуг для клієнтів IT-компанії. Проведено аналіз досліджень щодо проблем та підходів до розробки User Story Mapping. Фахівці з бізнес-аналізу залучають різні методи, у тому числі й методи машинного навчання, для вирішення проблем формування, структуризації та систематизації вимог, адекватного відображення User Story і ефективної програмної реалізації. Метою роботи є дослідження та удосконалення процесу розробки User Story Mapping для програмного продукту IT-компанії за рахунок використання рекомендаційної системи. Запропоновано бізнес-процес формування User Story Mapping для розробки продукту, орієнтованого на клієнта. Рекомендаційна система повинна включати базу знань з розробки програмних продуктів IT-компанії, базу шаблонів цілей та дій користувачів програмного продукту, правил формування User Story, алгоритмів логічного висновку, алгоритмів роз'язання типових задач щодо виявлення вимог з використанням методів машинного навчання і моделей обробки природної мови (NLP).

Ключові слова: бізнес-аналіз, Product Manager, Agile, SCRUM, User Story, User Story Mapping, бізнес-процес, машинне навчання.

V. MOSKALENKO, N. FONTA, V. KOSENKO, A. SALO, Y. KIRPICHEV

BUSINESS PROCESS OF USER STORY MAPPING BUILDING BASED ON USING THE RECOMMENDER SYSTEM

The article deals with current problem of developing User Story Mapping in software product development projects using the Agile SCRUM methodology. The market success of a software product is ensured by the product manager's full mastery of project management practices, product management practices, business analysis techniques, tools for achieving leadership in the IT market, and directly depends on the project's timely completion and implementation, the professionalism of the team and a clear understanding and presentation of the product vision, effective communication, etc. The justification is provided for necessity of using business analysis practices and techniques in the work of all project stakeholders regarding the software product development. Documents developed by leading international organizations, which focus on accumulating business analysis knowledge in the IT area and project management, are also referenced. It is proven that User Story Mapping is an essential tool for effective work of a business analyst and conducting product ownership analysis by the product manager. User Story Mapping also helps to the development team and other stakeholders create and deliver exceptional products and services for IT company clients. The analysis of existing research is conducted regarding the problems and approaches to the development of User Story Mapping. Business analysis practices involve various methods, including machine learning techniques, to resolve typical issues related to the creating, structuring, and systematization of requirements, accurate reflection of User Stories, and effective software implementation. The purpose of this work is to study and improve the process of User Story Mapping developing for a software product in an IT company by using of a recommender system. It is proposed a business process to create User Story Mapping for the customer-oriented product development. The recommender system should include a knowledge base on the software products development in IT companies, a template base of user goals and actions in the software product, rules for User Stories creating, logical inference algorithms, and solutions for typical problems in requirement identification with using machine learning methods and natural language processing (NLP) models.

Keywords: business analysis, Product Manager, Agile, SCRUM, User Story, User Story Mapping, business process, machine learning.

Вступ. Останнім часом сфера бізнес-аналізу розглядається як критична лідерська компетентність для розробки проєктів, програм і портфелів [1]. Здатність мислити бізнес-аналітично потрібна усім зацікавленим особам (стейкхолдерам) у процес розробки програмного забезпечення (ПЗ) за різними методологіями, а також потрібна у їх професійному й повсякденному житті, оскільки навички з бізнес-аналізу допомагають вирішенню складних проблем.

Провідні міжнародні організації, які займаються питаннями систематизації знань у сфері IT, стандартизацією управління проєктами, розробкою ПЗ та іншими аспектами, приділяють велику увагу методам бізнес-аналізу.

Стандарт з бізнес-аналізу (PMI Guide to Business Analysis), акредитований Американським національним інститутом стандартів (ANSI),

розширює структуру знань з управління проєктами (Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK Guide). Цей стандарт як посібник надає інструменти та методи для тих, хто прагне розуміти та виконувати обов'язки бізнес-аналізу (БА) на найвищому рівні [2]. Проведення бізнес-аналізу розглядається у 35 процесах, розподілених між шістьма групами процесів бізнес-аналізу: визначення та узгодження; ініціювання; планування; виконання; моніторинг і контроль; випуск. Стандарт з бізнес-аналізу PMI включає опис таких областей знань бізнес-аналітика [2]:

- 1) оцінка потреб;
- 2) залучення зацікавлених сторін;
- 3) виявлення;
- 4) аналіз;
- 5) відстеження та моніторинг;

6) оцінка рішень.

PMI Guide to Business Analysis описує понад 40 навичок і понад 100 методів, необхідних для ефективного виконання процесів БА, і висвітлює точки взаємодії між бізнес-аналізом та іншими посадами, на яких бізнес-аналітики зазвичай можуть працювати, наприклад як: менеджер продукту, системний аналітик, інженер з вимог тощо. Щоб отримати додаткові знання з методів бізнес-аналізу, PMI рекомендує використовувати посібник Business Analysis for Practitioners: A Practice Guide [1].

Стандартом БА для професіоналів, які виконують завдання бізнес-аналізу, є сукупність знань з бізнес-аналізу (A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge, BABOK Guide), запропонований міжнародним інститутом з бізнес-аналізу (International Institute of Business Analysis, IIBA) [3]. У BABOK визначено набір завдань і методів, які використовуються для реалізації бізнес-аналізу. БА визначається як практика внесення змін у організаційний контекст шляхом визначення потреб і рекомендаційних рішень, які приносять вигоду зацікавленим сторонам. Також наголошується, що інструменти БА використовуються не лише бізнес-аналітиком ПЗ, а також аналітиком бізнес-систем, системним аналітиком, інженером вимог, аналітиком процесів, менеджером та власником продукту, корпоративним аналітиком, бізнес-архітектором, консультантом з управління продуктом, дослідником даних та ін. Навички бізнес-аналізу використовуються для здійснення таких функцій, як менеджмент організації, управління проектами, управління програмними продуктами (ПП), розробка програмного забезпечення різного рівня, забезпечення якості та дизайн взаємодії тощо.

Теоретики та різні фахівці з БА приділяють велику увагу методам бізнес-аналізу, а також їх удосконаленню та розширенню [4, 5, 6].

У роботі [7] представлено двадцять найкращих методів для успішного управління вимогами, а саме: для планування, виявлення та аналізу вимог, для розробки специфікацій, перевірки та моніторингу. Ці основні методи допомагають бізнес-аналітику, продакт-менеджеру, власнику продукту (product owner), команді розробників та іншим фахівцям, задіяним у процес розробки та впровадження ПП, розуміти бізнес-проблеми замовників, залучати потрібних фахівців, формулювати кращі рішення, покращувати комунікації, реалізовувати найцінніші функції ПП у правильній послідовності та адаптувати ПП до змін ІТ-ринку.

Зараз сформувався світовий ринок ІТ, де конкурують великі компанії зі своїми програмними продуктами. Також формується й український ІТ-ринок, який поступово інтегрується зі світовим ринком. Українські ІТ-компанії здійснюють поступово перехід від аутсорсингової діяльності до продуктової, випускаючи ІТ-продукти, які пропонуються різним користувачам. Тому ІТ-компанії приділяють велику увагу не тільки управлінню розробкою ІТ-продуктів, а й просуванню цих продуктів на ринок.

Отже, актуальною проблемою стає розробка продуктових стратегій для підтримки та збільшення їх конкурентоспроможності. Оскільки ІТ-компанії переходять від проєктно-орієнтованого до продуктово-орієнтованого підходу, то попит на професіоналів з управління продуктом, які володіють техніками права власності на продукт (product ownership), зростає [8]. Першочерговим завданнями Product Manager є постійний моніторинг змін щодо уподобань та потреб користувачів продукту ІТ-компанії, відстежування змін у конкурентних продуктах, передбачення таких змін у майбутньому для швидкого реагування щодо ринкової адаптації своїх програмних продуктів. Успішне виконання таких завдань дасть можливість підтримувати конкурентоспроможність продукту на ІТ-ринку. У підсумку, для продуктових компаній розглядаються питання щодо аналізу розвитку права власності на продукт (product ownership) і дослідження того, що потрібно робити для надання успішних продуктів на ІТ-ринок. Використання перевірених методів бізнес-аналізу у сфері аналізу власності на продукт (Product Ownership Analysis, POA) допомагає менеджеру продукту та команді розробників у створенні виняткових ІТ-продуктів і послуг [8].

Отже, управління вимогами до ІТ-продукту - це наріжний камінь у роботі як бізнес-аналітика, так й Product Manager. У даній роботі розглянемо використання методів бізнес-аналізу в управлінні продуктом та product ownership для управління вимогами до ПП. Проведемо обґрунтування необхідності побудови карти історій користувачів User story Mapping як інструменту бізнес-аналізу для покращення процесу планування розробки ПП за гнучкою методологією SCRUM та процесу удосконалення ПП згідно вимог ІТ-ринку.

Мета роботи: дослідити та удосконалити процес формування User Story Mapping для розробки ПП за рахунок впровадження рекомендаційної системи щодо формування вимог за гнучкою методологією SCRUM

Аналіз досліджень щодо проблем та підходів до розробки User Story Mapping. Як доведено вище, правильне застосування методів бізнес-аналізу (традиційного чи гнучкого) допомагає власникам продуктів покращити свою повсякденну роботу. Такі методи запропоновані Міжнародним інститутом з бізнес-аналізу (IIBA) та Інститутом з управління проєктами (Project Management Institute, PMI) у таких документах:

- Посібник із сукупності знань бізнес-аналізу (BABoK) версія 3 (від IIBA®) [3];
- Бізнес-аналіз для практиків (від PMI®) [2];
- Керівництво з аналізу власності на продукт (від IIBA®) [9];
- Гнучке розширення BABoK (від IIBA®) [10].

Підходи та інструменти бізнес-аналізу використовуються на різних етапах розробки ПЗ. Роберт Гален як президент і головний коучер Agile компанії RGalen Consulting, який має близько 20 років практичного досвіду з гнучкої розробки ПЗ,

запропонував у своїх роботах чотири квадранти, які пов'язують бізнес-аналіз з володінням продуктом

(управлінням продуктом), управлінням проектами та лідерством [11].

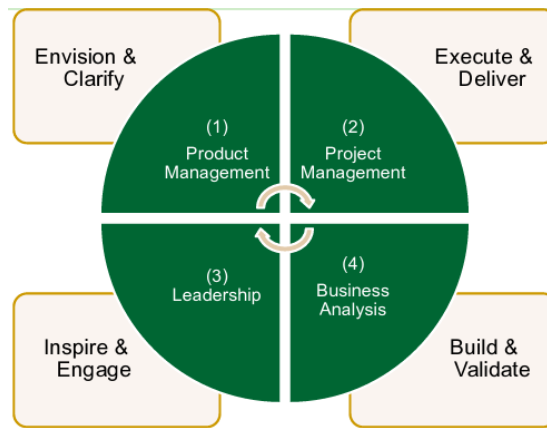


Рис. 1. Чотири квадранти Product Ownership [12]

Розуміння чотирьох квадрантів Product Ownership має вирішальне значення для ефективного управління продуктом. Кожен квадрант – управління проектами, лідерство, управління продуктами та бізнес-аналіз – відіграє свою роль у досягненні успіху продукту.

Квадрант 1 - управління продуктом. У цьому квадранті розглядаються такі компетенції як: керівництво продуктом, включаючи формування бачення проєкту, дорожньої карти продукту/випуску, виявлення очікувань зацікавлених сторін, бізнес-обґрунтування та рентабельність інвестицій, вимірювання якості проєкту, підтримка маркетингу та продажів продукту, залучення клієнтів, збір та аналіз відгуків. Цей квадрант є зовнішньо орієнтований, представляє прагматичну маркетингову структуру.

Квадрант 2 - управління проектами. У цей квадрант включені такі компетенції як розробка статуту проєкту, короткострокове та довгострокове планування, управління релізами, управління очікуваннями та комунікаціями, X-функціональними залежностями та основними етапами проєкту, зменшення ризиків та їх регулювання, бюджетування проєкту.

Квадрант 3 - лідерство. Основний акцент робиться на знання щодо бачення та місії продукту, на організаційне узгодження та управління очікуваннями клієнтів (замовників), на захист/довіру до команди розробників, на збалансування роботи та орієнтацію на збільшення цінності продукту та його якості, на підтримку сильних сторін продукту, та передбачення та уникнення загроз ринку на успішність продукту.

Квадрант 4 - бізнес-аналіз. Основні аспекти такі: управління вимогами, стейкхолдерами та історіями користувачів; визначення критеріїв прийняття та готовності продукту; прогнозування відхилень від плану реалізації вимог; уточнення беклогу; пріоритизація вимог і передбачення змін у вимогах та ін.

Роберт Гален пропонує розглядати додатково 5-й квадрант, який описує особисті властивості Product Ownership, а саме: особисте зростання і навчання, самореалізованість, довіра до стейкхолдерів, залученість до усіх етапів розробки та підтримки

програмного продукту, комунікації з внутрішніми та зовнішніми стейкхолдерами [12].

Отже, успіх продукту ІТ-компанії забезпечується повним оволодінням компетенціями, які описані у чотирьох квадрантах, бізнес-аналітиками, Product Ownership, Product Manager та іншими учасниками процесу розробки й підтримки ПП, а також залежить від вчасного виконання та реалізації проєкту, професійності команди, правильного розуміння та чіткого представлення бачення продукту, ефективних комунікацій тощо.

У роботі [13] виділені три перспективи використання проєкт менеджера методів бізнес-аналізу:

1) постійно мати можливість бачити загальну структуру усіх вимог (завдань) щодо ПП не тільки у поточній ініціативі, а мати передбачення майбутніх їх змін;

2) мати можливість зосередитися на основних задачах (управління стейкхолдерами, знання домену, комунікації з користувачами тощо) для вирішення різних проблем;

3) постійно підтримувати та підсилювати цінність ПП у залежності від змін щодо потреб користувачів протягом усього життєвого циклу продукту.

Одним з потужних інструментів БА за гнучкою методологією є побудова User Story Mapping. User Story Mapping – це візуальне представлення шляху користувача під час взаємодії з ПП. Відображення сукупності історій користувача як системи – це і є User Story Mapping.

User Story Mapping як процес допомагає відповісти на такі критичні запитання: «Які кроки роблять користувачі для досягнення своїх цілей?», «Які функції необхідні для підтримки цих кроків?» і «Як можна забезпечити узгоджену взаємодію з користувачем?» [14].

Джефф Паттон [15] популяризував метод User Story Mapping, який замінив тривалий процес збору технічних вимог і розділеного оновлення, який є у розробці ПЗ за водоспадною методологією. Історії користувача призначені для ініціювання співпраці та розмови між членами команди, надаючи їм ширшу

картину того, як програмний продукт повинен розроблятися частинами відповідно до вимог, а потім поєднуватися. У статті [16] підкреслюється, що поєднання усіх User Story важливе у гнучкому середовищі розробки, оскільки втрата командою розуміння призначення продукту, його цінності у цілому є поширеною проблемою, яка може виникнути, коли команди працюють із окремими історіями користувача. User Story Mapping відображає три типи дій з різною деталізацією: загальні дії, кроки та найбільш конкретні (детальні) дії. Загальні дії та кроки користувача відображаються горизонтально у верхній частині карти, а деталі розташовані вертикально під відповідними кроками у порядку пріоритету.

Процес побудови User Story Mapping супроводжується такими основними проблемами, як:

1) часто неможливо зібрати разом усіх зацікавлених у процесі розробки або удосконалення ПП осіб. Зазвичай така проблема вирішується за допомогою використання програмних інструментів відображення історій користувачів та побудови карти, наприклад, Miro, Jira, Easy Agile TeamRhythm та ін. [17];

2) для формування User Story Mapping потрібно мати повне представлення процесу взаємодії користувача з продуктом. Це потребує часу для вивчення досвіду користувача (User Experience, UX) та моделювання його поведінки. Існують різні методи відображення UX, які дизайнер може використовувати для створення кращих продуктів і послуг, наприклад, картування емпатії (Empathy mapping), картування шляху клієнта (Customer journey mapping), відображення сценарію (Scenario mapping), картування досвіду (Experience mapping), проектування послуг (Service blueprinting) [18]. Цим займаються дизайнери

UI/UX, які залучаються до побудови User Story Mapping;

3) побудова карти потребує багато часу, оскільки потрібна координація дій та узгодження думок усіх учасників цього процесу з різними професійними рівнями. Отже, потрібно залучати певні інструменти не тільки для автоматизації рутинних завдань, а й для накопичення знань залучених фахівців у поточній ініціативі та знань з попередніх подібних проєктів, накопичення та систематизація досвіду користувачами ПП, типових сценаріїв дій тощо. Наприклад, можна прискорити процес побудови User Story Mapping за допомогою використання спеціального ПЗ для формування User Story та отримання зв'язків між ними у випадку розгляду типових дій користувача.

Отже, проєкт може включати велику кількість історій користувачів, які слід упорядкувати, поділити у різні групи на основі схожості їх функціональних можливостей для системного аналізу вимог, ефективного відображення розроблених функцій і ефективної програмної реалізації. Вирішенням цієї проблеми займаються активно фахівці з бізнес-аналізу, залучаючи різні методи, у тому числі й методи машинного навчання.

У роботі [19] пропонується новий підхід для автоматичної кластеризації історій користувачів на основі обробки природної мови. Шаблони речень кожного компонента історії користувача спочатку аналізуються та визначаються так, щоб критичну структуру в репрезентативних завданнях можна було автоматично виділити на основі метамоделі історії користувача (рис. 2). Розраховується подібність історій користувачів, що може бути використано для створення зв'язаного графа як основи автоматичної кластеризації історій користувачів.

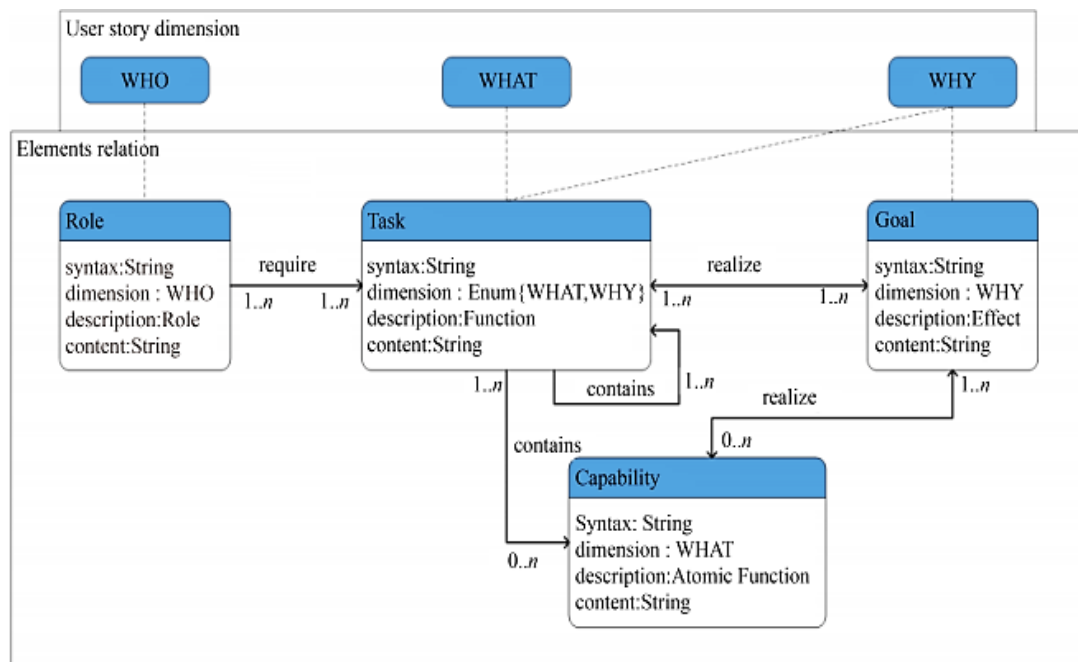


Рис. 2. Мета-модель для User Story [18]

У статті [20] наведено автоматизовану структуру для групування історій користувачів на основі

сімейства методів машинного навчання. Попередня обробка даних спочатку проводиться для аналізу

історій користувачів і отримання у них ключових слів. Потім визначаються функції ПЗ, на основі яких історії користувачів можуть бути автоматично згруповані до різних кластерів. Запропоновано використовувати п'ять алгоритмів вилучення ознак і сім методів кластеризації. Але результати, які отримані у роботах [19, 20], показали, що такі дослідження треба продовжувати, ще потрібно провести безліч експериментів щодо адекватності використання деяких методів формування ознак та точності методів кластеризації.

Розв'язанню задачі кластеризації історій користувачів присвячена також робота [21]. Пропонується використати алгоритм k-середніх для аналізу історій користувачів. За допомогою цього підходу подібні історії користувачів групуються на основі показників подібності.

Щоб зрозуміти та реалізувати історії користувачів, у деяких випадках потрібно збільшити зв'язність між історіями користувачів. Для організації груп історій користувачів у роботі [22] використано методи кластеризації K-means та K-medoids на основі косинусної відстані для створення кластерів (розміром 5, 10 і 15) історій користувачів. Доведено, що продуктивність алгоритму K-means є кращою, ніж алгоритм K-medoids для кластеризації історій користувачів у гнучкій інженерії.

Питанням побудови залежностей історій користувачів присвячена робота [23]. Тут пропонується метод, який сприяє кращому розумінню порядку виконання історій користувачів та їх інтеграційних залежностей шляхом використання моделей бізнес-процесів. Метод пов'язує історії користувача з відповідним елементом діяльності моделі бізнес-процесу. Запропоновано «розуміння» залежностей історій користувача вимірювати за допомогою двох типів питань, де одне вимагає розуміння залежності порядку виконання, а інше – залежності інтеграції між заданими історіями користувача. Але тут треба звернути увагу на те, що реалізація такого підходу потребує багато часу на вивчення досвіду користувача для побудови бізнес-процесів.

Коли розробники User Story Mapping формують велику кількість історій користувачів, то можуть виникнути труднощі з їх сортуванням, оцінкою їх надлишковості та релевантності, визначення їх пріоритетності. У роботі [24] запропоновано перевіряти сформовані вимоги у вигляді історій користувача за допомогою дерева обґрунтувань, яке є концептуальною моделлю історій користувачів. Але дослідження довело тільки те, що додаткова візуалізація процесу та використання порівняльного аналізу зв'язків між вимогами надає розробникам можливість зменшити помилки формуванні історій користувачів.

Підсумок. На основі проведеного аналізу проблем та підходів до розробки User Story Mapping зроблено висновок, що для продакт менеджера використання User Story Mapping є ефективним інструментом, який дозволяє систематизувати досвід користувача,

проаналізувати вимоги, передбачити та представити системно бачення продукту для команди розробників та інших осіб, залучених у проєкт розробки та розвитку ПП. Також доведено, що використання методів машинного навчання у процес User Story Mapping, наприклад, методів кластеризації, є доцільним, але потребує подальшого розгляду, проведення різних за складністю експериментів. Але не приділено достатньо уваги питанням щодо формування моделей акумуляції попереднього досвіду продакт менеджера, бізнес-аналітика та інших стейкхолдерів у подібних проєктах. Тому пропонується розглянути задачу формування рекомендаційної системи, яка буде використовуватися для підтримки процесу формування User Story Mapping. Така рекомендаційна система повинна будуватися на принципах розробки сучасних систем штучного інтелекту, які викладені у сучасних дослідженнях. Планується, що її структура буде будуватися на засадах, запропонованих у роботі [25]. Поки не планується використовувати генеративний інтелект для її побудови [26].

Бізнес-процес побудови User Story Mapping.

Розглянемо задачу розробки бізнес-процесу формування User Story Mapping для продукту, орієнтованого на клієнта, з використанням рекомендаційної системи. Рекомендаційна система повинна включати базу знань різних стейкхолдерів щодо розробки програмних продуктів ІТ-компанії, базу шаблонів цілей та дій користувача ПП, правил формування User Story та алгоритмів логічного висновку, побудованих з використанням методів машинного навчання і моделей обробки природної мови (NLP).

Зазвичай створення карти історії користувача складається з кількох кроків [27, 28].

1. Формулювання проблеми: визначити проблему, яку повинен вирішити програмний продукт для користувачів, які їх потреби та цілі використання продукту.

2. Розуміння користувачів: визначити типи користувачів та їх особливі потреби, поведінку при вирішенні проблеми та дії для задоволення потреб (або досягнення цілей).

3. Побудова карти діяльності користувача: визначити основні дії, які користувачі виконуватимуть у програмному продукті для досягнення своїх цілей.

4. Картування історії користувачів: розбити кожну дію користувача ПП на менші історії, які представляють конкретні взаємодії користувача з ПП чи виконання певних завдань.

5. Визначення послідовності і пріоритетності: розташувати історії користувачів у логічній послідовності та визначити їх пріоритетність на основі їх важливості для користувача (або замовника).

6. Визначення прогалів у карті та залежності історій користувачів: визначити будь-які відсутні вимоги до ПП у вигляді User Story, ризики або залежності між завданнями та взаємодіями користувачів з ПП.

7. Планування спринтів та релізів: згрупувати історії користувачів за ітераціями їх виконання та визначити релізи на основі їх пріоритету та сформувати цінності ПП після кожного релізу.

Розглянемо ці кроки в межах запропонованого бізнес-процесу. Будемо вважати, що усі організаційні

питання щодо місця проведення зібрання та склад учасників цього процесу з'ясовано, також попередньо надана усім учасникам загальна інформація щодо проекту розробки ПП. Тоді бізнес-процес побудови User Story Mapping буде складатися з таких процедур (рис.3).

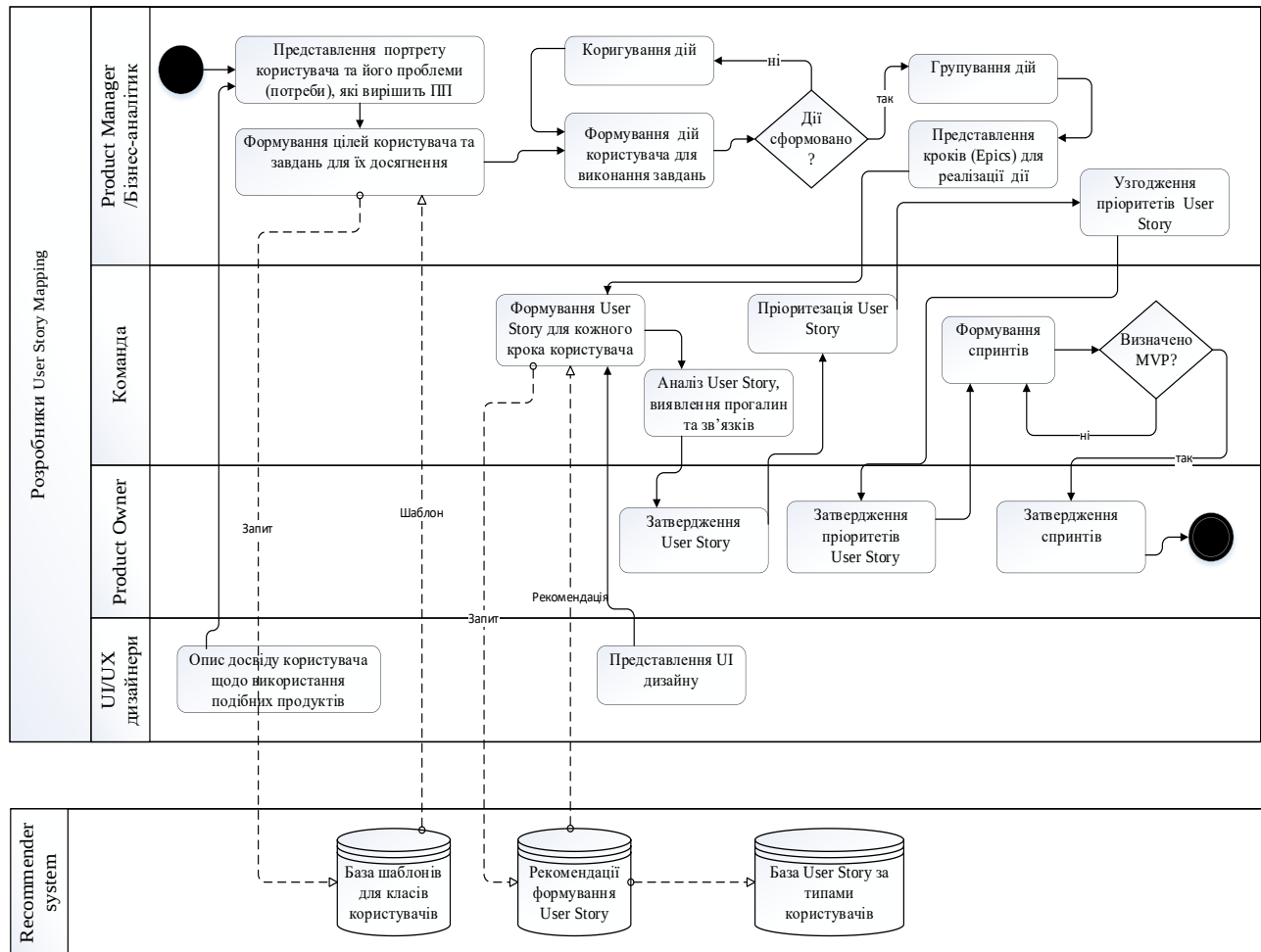


Рис. 3. Бізнес-процес побудови User Story Mapping

1. Бізнес-аналітик та менеджер продукту представляють портрет користувача (або портрети визначених класів користувачів) та його проблему (або проблеми), яку він повинен вирішити за допомогою ПП. Важливо зрозуміти потреби користувачів, які треба задовольнити в межах цієї проблеми. UX-дизайнер вивчає попередній досвід потенційного користувача роботи з подібними програмами та долучає цю інформацію для уточнення потреб користувача у використанні ПП.

2. Бізнес-аналітик та менеджер продукту формують цілі, яких користувач може досягти за допомогою використання ПП, та завдання, які потрібно реалізувати для цього. Ці питання попередньо вивчаються, потім представляються на обговорення іншим учасникам зібрання Product Owner, команді та ін.

3. Бізнес-аналітик або менеджер продукту формує перелік дій (Activities), який користувач здійснить в межах ПП для виконання певного завдання. Важливо зосередитися на цінності кожної дії для користувача, а

не на технічній реалізації. Потім ці дії будуть основою для формування історій користувача. Тут отримують відповідь на запитання: «Які дії потрібно зробити користувачу, щоб задовольнити свої потреби або досягнути своєї мети (своїх цілей)?».

4. Формування основних кроків для реалізації дій. Видаляються надлишкові, дублюючі дії. Грукуються дії користувача за темами – створюються так звані епіки (Epics) – «великі історії користувача». Епіки далі розбиваються на менші User Story. У підсумку повинна бути створена основа User Story Mapping – послідовність основних дій користувача (Activities) та основні завдання (Epics), які треба виконати у межах цих дій.

5. Команда та інші учасники процесу формують User Story, тобто проводиться декомпозиція епіків до завдань з більшою кількістю деталей та критеріями прийняття. Тут пропонується використовувати шаблони та правила формування User Story для подібних ПП, які надаються рекомендаційною системою для уникнення помилок та пропусків.

Важливо продумати негативні сценарії дій користувача, наприклад, відмови, помилки у діях тощо та відобразити це у User Story. Також додається інформація від UI/UX дизайнерів щодо інтерфейсів для ілюстрації виконання певних завдань користувачем.

6. Команда проводить аналіз карти історій користувачів, їх зв'язків та заповнює «пропуски» - знаходить історії користувача, які були пропущені. Учасники процесу надають відповіді на такі питання: «Чого ще не вистачає для зручності використання продукту і як ще можна полегшити взаємодію користувача з продуктом?». Також викидаються «надлишкові» User Story, які не надають цінності ПП.

7. Команда розробників визначає пріоритети User Story. Product Owner та менеджер продукту узгоджують ці пріоритети. Тут може враховуватися побажання замовника щодо реалізації першочергових функцій ПП, які представлені як User Story. Отже, вирішується, що потрібно зробити у першу чергу, а що можна залишити на потім (наприклад, у наступних версіях продукту). Важливо пам'ятати, що треба дивитися на продукт з точки зору клієнта (користувача), а не з точки зору розробника чи менеджера продукту (маркетолога). У результаті історії користувача розташовують зверху вниз у порядку пріоритету за цінністю для користувача під відповідними завданнями (епіками).

8. Команда розробників разом з Product Owner планує етапи розробки – розділяє User Story на спринти та версії продукту. Формується так звана релізна стратегія, яка показує що потрібно користувачу у першу чергу, тобто, які функції, що відображені у історіях користувача, треба реалізувати у першу чергу, визначаються тривалість спринтів та графік релізів. Важливо сформувати бачення мінімального життєздатного продукту (minimum viable product, MVP), якщо мова йде про первинну розробку ПП, а не про його удосконалення. У цьому випадку долучаються власник продукту, бізнес-аналітик, які узгоджують так звану дослідницьку стратегію продукту – відокремлення історій користувача, без яких продукт не зможе існувати або не можна представляти як перше наближення замовнику. На цьому етапі команда розробників прописує функціональні деталі, які знадобляться користувачеві при кожній дії: фронтенд, бекенд та інші.

9. Product Owner затверджує спринти, що означає затвердження стратегії розробки ПП.

Отже, після завершення створення User Story Mapping, є готовий беклог продукту (список завдань у порядку важливості та пріоритетності). Далі проводиться розробка ПП згідно SCRUM. У процесі розробки постійно переглядається та оновлюється User Story Mapping згідно змін пріоритетів та появи/відміни певних функцій ПП.

Розглянемо умовний приклад формування User Story Mapping за допомогою інструменту Miro. Вважається, що ПЗ буде розроблено як сервіс, за

допомогою якого маркетолог зможе сформувати маркетингові стратегії для своєї компанії на основі отриманих шаблонів та рекомендацій.

На першому етапі розробки карти формується портрет користувача додатку – це маркетолог компанії, який/яка працює на засадах клієнто-орієнтованого підходу. Існує проблема – це визначення маркетингової стратегії для компанії з урахуванням потреб клієнтів. У маркетолога є досвід роботи з різними офісними додатками, у тому числі MS Excel. Маркетолог має досвід розробки маркетингових стратегій, але збільшення клієнтів компанії та зростання маркетингових даних ускладнює процес формування таких стратегій. Отже, визначена проблема потенційного користувача продукту.

На другому етапі бізнес-аналітик або менеджер продукту формулює потреби маркетолога, як користувача – це не тільки сформувати єдину маркетингову стратегію, а ще проаналізувати поведінку клієнтів, згрупувати їх за класами та для кожного класу визначити стратегію з метою утримання існуючих клієнтів та залучення нових. Отже, формуються очікування користувача від роботи з ПЗ.

На третьому етапі пропонуються такі основні дії маркетолога: 1) зайти у додаток через браузер; 2) визначити класи клієнтів компанії; 3) сформувати маркетингову стратегію по кожному класу клієнтів; 4) вийти з додатку.

На четвертому етапі для реалізації дій сформовані такі основні кроки (епіки): 1) зайти у додаток без реєстрації або зайти як зареєстрований користувач; 2) обрати метод кластеризації, провести кластеризацію клієнтів за обраним методом на основі існуючих даних компанії; 3) отримати рекомендації щодо розробки маркетингових стратегій, сформувати маркетингові стратегії для кожного класу клієнтів; 4) закрити додаток зі збереженням результатів.

На п'ятому та шостому етапах команда формує User Story, аналізує усі історії користувача, додаючи пропущені історії. Наприклад, було додано історію користувача щодо проведення кластеризації за обраними клієнтом методами, що додає цінності додатку, оскільки вже більш досвідчений маркетолог - користувач цього додатку - може отримати декілька варіантів кластеризації клієнтів компанії та обрати той варіант, який буде відповідати йому практичному досвіду.

На сьомому та восьмому етапі проводиться пріоритизація історій користувача та визначаються ті, які треба першочергово реалізувати у межах MVP. Отже, формуються спринти з урахуванням пріоритетності та трудомісткості реалізації історій користувача.

На дев'ятому етапі Product Owner, який не тільки спостерігав за процесом розробки карти історій користувачів, а й активно приймав у ньому участь, затверджує спринти.

Далі запускається процес розробки додатку.

User Story Mapping для додатку формування маркетингової стратегії надано на рис. 4.

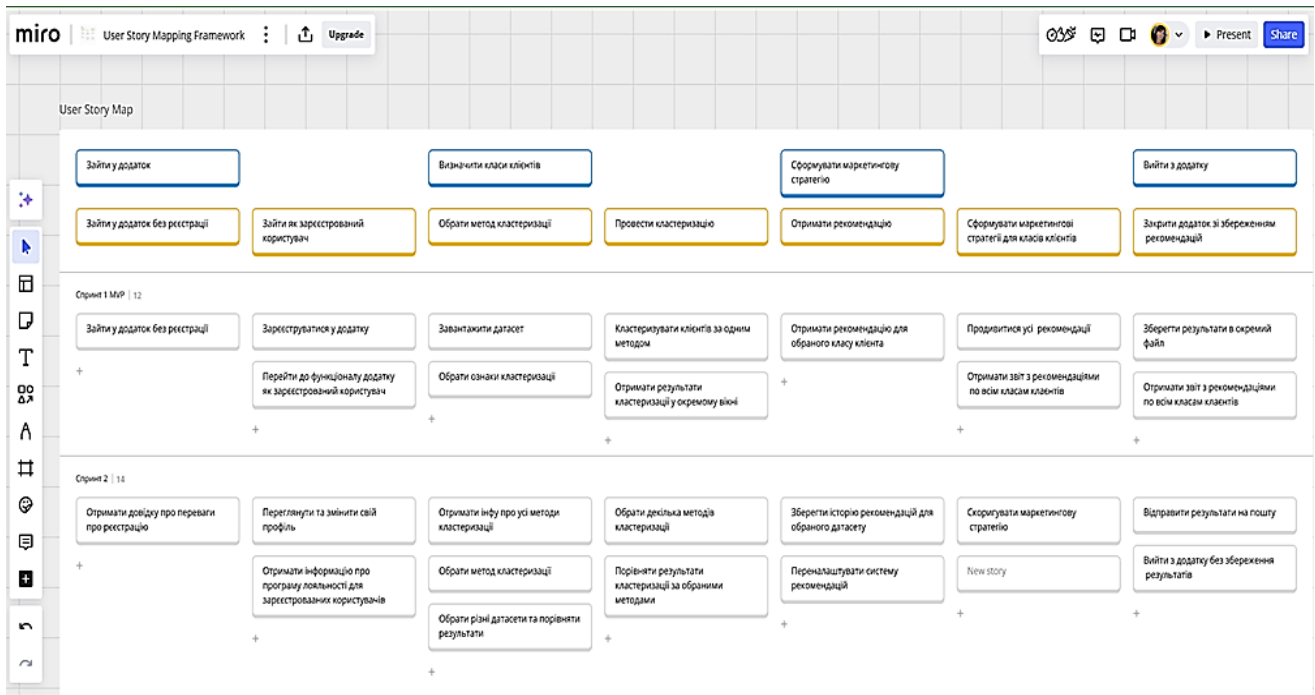


Рис. 4. User Story Mapping для додатку формування маркетингової стратегії (умовний приклад)

Отже, навіть такий простий умовний приклад складання User Story Mapping потребує багато часу на формулювання, обговорення, узгодження, перевірку на надлишковість та доцільність тої чи іншої історії користувача. Тому до бізнес-процесу пропонується долучити використання рекомендаційної системи, яка дасть можливість використовувати сформовані шаблони та правила складання історій користувачів-маркетологів, які ставлять за мету отримати певне рішення щодо маркетингових стратегій. Отже, якщо ІТ-компанія спеціалізується на ПП, які націлені на розв'язання маркетингових задач, то доцільно сформувати перелік стандартних задач та алгоритми їх розв'язання, сформувати шаблони User Story у межах кожної маркетингової задачі, у наведеному прикладі - це задача кластеризації клієнтів компанії та формування відповідних маркетингових стратегій для кластерів клієнтів.

Висновки. У результаті даного дослідження було виявлено, що провідні міжнародні організації, які займаються питаннями акумулювання знань бізнес-аналізу у сфері ІТ та стандартизацією з управління проектами, наголошують, що ринковий успіх програмного продукту забезпечується повним оволодінням Product Manager методами управління проектами, управління продуктами, техніками бізнес-аналізу, інструментами досягнення лідерства на ІТ-ринку. Знання методів бізнес-аналізу допомагають не тільки Product Manager, а й усім стейкхолдерам проекту вирішувати складні проблеми на різних етапах життєвого циклу розробки ПП.

У роботі доведено обґрунтування доцільності використання інструменту бізнес-аналізу User Story Mapping у проектах розробки ПП за гнучкою методологією SCRUM.

Надано огляд сучасних досліджень щодо удосконалення процесу розробки User Story Mapping. Фахівці у сфері розробки ІТ усе частіше використовують різні методи машинного навчання для вирішення проблем формування, структуризації та систематизації вимог, ефективного відображення User Story і ефективної програмної реалізації.

Розроблено бізнес-процес формування User Story Mapping для продукту, орієнтованого на клієнта, з додаванням рекомендаційної системи. Використання рекомендаційної системи допоможе менеджеру продукту, бізнес-аналітику, власнику продукту, команді розробників та іншим особам, задіяних у цьому процесі, зменшити час, швидко виявити пропуски та помилки.

У подальших дослідженнях буде приділена увага розробці рекомендаційної системи для формування User Story Mapping, що включає визначення системи правил щодо формування історій користувача для окремих типів ПП та висновків, а також представлення різних шаблонів. Продовжиться робота щодо удосконалення певних процедур запропонованого бізнес-процесу.

Список літератури

1. *Business Analysis for Practitioners: A Practice Guide*. Sec. Ed. Publisher: Project Management Institute. 2024. 206 p.
2. *The PMI Guide to Business Analysis*. URL: https://bpmtraining.net/wp-content/uploads/2020/11/The_PMI_Guide_to_Business_Analysis.pdf (дата звертання : 20.11.2024).
3. *A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge® (BABOK® Guide)*. International Institute of Business Analysis. Version 3.0. URL: <https://www.iiba.org/career-resources/a-business-analysis-professionals-foundation-for-success/babok/> (дата звертання : 20.11.2024).
4. Cadle J., Paul D (2021) *Business Analysis Techniques: 123 Essential Tools For Success*. Ed. 3rd. BCS, The Chartered Institute for IT. 386 p.

5. Cain A. 8 *Favourite Business Analysis Techniques*. URL: <https://www.iiba.org/business-analysis-blogs/8-favourite-business-analysis-techniques/> (дата звертання : 20.11.2024).
6. Winter H. *The Business Analysis Handbook: Techniques and Questions to Deliver Better Business Outcomes*. 1st Edition. Kogan Page. 2019. 280 p.
7. Wiegers K., Hokanson C. *Software Requirements Essentials. Core Practices for Successful Business Analysis*. Addison-Wesley Professional. 2023. 208 p.
8. *Introduction to Product Ownership Analysis*. URL: <https://go.iiba.org/Introduction-to-POA> (дата звертання : 20.11.2024).
9. *Guide to Product Ownership Analysis*. International Institute of Business Analysis. 2021. 314 p.
10. *The Agile Extension to the BABOK® Guide*. URL: <https://www.agilealliance.org/resources/initiatives/agile-extension-to-the-babok-guide/> (дата звертання : 20.11.2024).
11. Galen R. *Scrum Product Ownership: Navigating The Forest AND The Trees Paperback*. RGCG, LLC. 2019. 343 p.
12. Galen R. *What does "Good" Look Like? The 4-Quadrants of Product Ownership*. 2022 URL: https://meetup.asvpm.org/MeetupFiles/2022/BobGalen/The_4_Quadrants_of_Product_Ownership.pdf. (дата звертання : 20.11.2024).
13. Santos N. *Business analysis tips for effective Product ownership. A view from business analysis reference guides* URL: <https://medium.com/analysts-corner/business-analysis-tips-for-effective-product-ownership-68234cf6b10>. (дата звертання : 20.11.2024).
14. Guthrie G. *The importance of story mapping in Agile development*. 2023. URL: <https://nulab.com/learn/design-and-ux/story-mapping/> (дата звертання : 20.11.2024).
15. Patton J., McCreery R. *User Story Mapping: Discover the Whole Story, Build the Right Product*. Ascent Audio. 2021. 278 p.
16. Kaley A. *Mapping User Stories in Agile*. URL: <https://www.nngroup.com/articles/user-story-mapping/> (дата звертання : 20.11.2024).
17. Muldoon N. *The Ultimate Guide to User Story Mapping [2024 Guide]* URL: <https://www.easyagile.com/blog/the-ultimate-guide-to-user-story-maps/#tips-for-successful-user-story-mapping> (дата звертання : 20.11.2024).
18. *UX Mapping: How to Create Effective Experience Maps*. 2024. URL: <https://www.ramotion.com/blog/ux-mapping/> (дата звертання : 20.11.2024).
19. Yang B., Ma X., Wang C., Guo H. User story clustering in agile development: a framework and an empirical study. *Frontiers of Computer Science (electronic)*, 2023. 17(6). P. 176213. DOI:10.1007/s11704-022-8262-9 URL: <https://journal.hep.com.cn/fcs/EN/abstract/article/2095-2228/33432> (дата звертання : 20.11.2024).
20. Yang B., Guo H., Liu H. Evaluation and assessment of machine learning based user story grouping: A framework and empirical studies. *Science of Computer Programming*, 2023. Vol.227, P. 102943. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2023.102943>.
21. Kumar B., Tiwari U. K., Dobhal D. C., Negi H S. *User Story Clustering using K-Means Algorithm in Agile Requirement Engineering. Conference: 2022 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*. DOI: 10.1109/CISES54857.2022.9844390. URL: https://www.researchgate.net/publication/362650484_User_Story_Clustering_using_K-Means_Algorithm_in_Agile_Requirement_Engineering (дата звертання : 20.11.2024).
22. Kumar B., Tiwari U. K., Dobhal D. C. Machine Learning Based Approach for User Story Clustering in Agile Engineering. *SN Computer Science*, 2023. Vol. 4, a.n. 763. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02212-2>.
23. Trkman M. Mendling J., Krisper M. Using business process models to better understand the dependencies among user stories. *Information and Software Technology*, 2016. Vol. 71. P. 58-76. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.10.006>.
24. Tsilionis K., Maene J., Heng S., Wautelet Y., Poelmans S. (2021). Conceptual Modeling Versus User Story Mapping: Which is the Best Approach to Agile Requirements Engineering? In: Cherfi, S., Perini, A., Nurcan, S. (eds) *Research Challenges in Information Science. RCIS 2021. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 415. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75018-3_24 URL: <https://www.researchgate.net/publication/351400926> (дата звертання : 20.11.2024).
25. Agarwal et al. Knowledge-based recommendation system using semantic web rules based on Learning styles for MOOCs. *Cogent Engineering*, 2022, 9: 2022568. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.2022568>. URL: https://www.researchgate.net/publication/357741043_Knowledge-based_recommendation_system_using_semantic_web_rules_based_on_Learning_styles_for_MOOCs (дата звертання : 22.11.2024).
26. Ayemowa M. O. et al. Analysis of RS Using Generative AI: A Systematic Literature Review. *SSRN Electronic Journal*, 2024. Vol. 12, P. 87742 – 87766. DOI:10.2139/ssrn.4922584 URL: https://www.researchgate.net/publication/384021351_Analysis_of_Recommender_System_Using_Generative_Artificial_Intelligence_A_Systematic_Literature_Review (дата звертання : 22.11.2024).
27. Duval S. *The step-by-step guide to running a User Story Mapping workshop*. 2024. URL: <https://medium.com/@silvere.duval/the-step-by-step-guide-to-running-a-user-story-mapping-workshop-b8f6c9a6595b> (дата звертання : 22.11.2024).
28. Muldoon N. *The Ultimate Guide to User Story Mapping [2024 Guide]* URL: <https://www.easyagile.com/blog/the-ultimate-guide-to-user-story-maps> (дата звертання : 22.11.2024)

Надійшла (received) 13.03.2025.

Відомості про авторів / About the Authors

Москаленко Валентина Володимирівна (Moskalenko Valentyna) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інформаційних систем та технологій, м. Харків, Україна; ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка», професор кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: valentinamosk17@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9994-5404>.

Фонта Наталія Григорівна (Fonta Nataliia) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інтелектуальних систем управління, м. Харків, Україна; e-mail: natalia.fonta@dataart.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5593-1409>

Косенко Владислав Анатолійович (Kosenko Vladyslav) – аспірант кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: vladyslav.kosenko@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8907-8336>

Сало Антон Олександрович (Salo Anton) – магістр кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: anton.salo@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7667-0532>

Кірпи́чев Ю́рій Анато́лійович (Kirpichev Yurii) – магістр кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: yurii.kirpichev@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1842-0431>

О. О. ЯСІНЕЦЬКИЙ, Т. Г. ФЕСЕНКО**УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ІТ ПРОЄКТІВ: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ**

Метою дослідження стало визначення публікаційного кола знань з управління ризиками ІТ проєктів та ідентифікація сучасних інструментів, методів, артефактів для ефективного управління ризиками. Окреслено базові принципи, процеси, методи та інструменти управління ризиками проєктів в міжнародних системах знань і стандартів («Guide to the Project Management Body of Knowledge», «ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines», «The standard for risk management in portfolios, programs, and projects»). Наголошується, що використання структурованих підходів дозволяє мінімізувати невизначеність, підвищити гнучкість у прийнятті рішень і забезпечити ефективне досягнення цілей високотехнологічного проєкту. Проаналізовано дисертаційні роботи з управління ризиками проєктів у сфері інформаційних технологій (Information Technology, IT), захищені в Україні у 2021–2024 рр. Виявлено, що більшість теоретико-практичних результатів представлено в контексті галузі знань 12 – Інформаційні технології (спеціальності 122 – Комп’ютерні науки). Застосовано VosViewer Software для бібліометричного аналізу публікації, індексованих у науково-метричній базі Scopus. Створено бібліометричні карти ключових слів досліджень з управління ризиками ІТ проєктів та структуровано їх у дванадцять кластерів: методи управління ризиками та активами в ІТ проєктах; геоінформаційні системи, блокчейн та віртуальна реальність для сталого розвитку; інтелектуальні системи та автоматизація в управлінні інженерними проєктами; цифрова трансформація та управління змінами в інженерії; інформаційна безпека, великі дані та довіра в управлінні проєктами; управління ризиками в розробці програмних продуктів на основі інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та хмарних технологій; цифрове будівництво: стратегії, безпека та співпраця; цифрові технології для управління безпекою в будівництві; аналітика для управління ризиками ІТ проєктами; управління проєктами e-Government; управління ризиками кібербезпеки; IT outsourcing: управління, стратегії та інтеграція. Представлена вибірка документів, найбільш дотичних для подальших науково-дослідних розвідок. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших наукових досліджень у сфері управління безпекою та кібербезпекою ІТ-проєктів.

Ключові слова: бібліометричний аналіз, управління ризиками, інформаційні технології (IT), IT проєкт.

О. YASINETSKYI, T. FESENKO**IT PROJECT RISK MANAGEMENT: AN ANALYTICAL REVIEW OF RESEARCH**

The purpose of the study was to determine the published body of knowledge on IT project risk management and identify modern tools, methods, artifacts for effective risk management. The basic principles, processes, methods, and tools of project risk management in international knowledge systems and standards (“Guide to the Project Management Body of Knowledge”, “ISO 31000:2018. Risk management - Guidelines”, “The standard for risk management in portfolios, programs, and projects”). It is emphasized that the use of structured approaches allows minimizing uncertainty, increasing flexibility in decision-making and ensuring the effective achievement of high-tech project goals. The dissertations on risk management of projects in the field of information technology (IT), defended in Ukraine in 2021–2024, were analyzed. It was found that most of the theoretical and practical results are presented in the context of the field of knowledge 12 - Information Technology (specialty 122 - Computer Science). VosViewer Software was used for the bibliometric analysis of publications indexed in the Scopus scientific and metric database. Bibliometric maps of keywords of research on IT project risk management were created and structured into twelve clusters: methods of risk and asset management in IT projects; geographic information systems, blockchain and virtual reality for sustainable development; intelligent systems and automation in engineering project management; digital transformation and change management in engineering; information security, big data and trust in project management; risk management in the development of software products based on Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT) and cloud technologies; digital construction strategies, security, and collaboration; digital technologies for safety management in construction; analytics for IT project risk management; e-Government project management; cybersecurity risk management; IT outsourcing: management, strategies, and integration. A selection of documents most relevant for further research is presented. The results obtained can serve as a basis for further research in the field of security and cybersecurity management of IT projects.

Keywords: bibliometric analysis, risk management; information technology (IT); IT project.

Вступ. Ризик-менеджмент є критично важливою складовою управління високотехнологічними проєктами. ІТ проєкти характеризуються високим рівнем невизначеності, динамічними змінами вимог, технологічною складністю та значними фінансовими ризиками. Ефективне управління ризиками дозволяє мінімізувати потенційні загрози, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити досягнення цілей ІТ-проєкту в межах визначених термінів і бюджету.

В системі знань Project Management Body of Knowledge (PMBOK) управління ризиками є однією з ключових областей знань, яка взаємопов’язана з управлінням графіком/термінами, вартістю, ресурсами, якістю проєкту. У PMBOK область знань «Project Risk Management» була представлена сімома процесами [1, 2]:

- 1) планування управління ризиками (Plan Risk Management);
- 2) ідентифікація ризиків (Identify Risks);
- 3) якісний аналіз ризиків (Perform Qualitative Risk Analysis);
- 4) кількісний аналіз ризиків (Perform Quantitative Risk Analysis);
- 5) планування реагування на ризики (Plan Risk Responses);
- 6) імплементація впливу на ризики (Implement Risk Responses);
- 7) моніторинг ризиків (Monitor Risks).

Ефективне виконання процесів управління ризиками передбачало 15 видів «інструментів та методів», зокрема: збір, аналіз даних; аудит; стратегії загроз, можливостей, можливого і загального реагування; розподіл ризиків; представлення даних; експертна оцінка; міжособистісні та командні навички;

наради; база даних ефективних рішень; прийняття рішень; інформаційна система управління проектами.

Найбільшу кількість видів методів та інструментів потребує виконання процесу «Планування реагування на ризики» [1–3].

У новій редакції PMBOK [4] управління ризиками презентується на рівні принципу управління проектами – «Оптимізувати реагування на ризики» («Optimize Risk Responses») та в контексті сфери виконання «Невизначеність» («Uncertainty Performance Domain»). Заходи реагування на ризики повинні бути [4, с. 53]: відповідними значущості ризику; економічно ефективними; реалістичними в контексті проекту; погодженими відповідними стейкхолдерами; у власності відповідальної особи.

Сфера виконання «Невизначеність» охоплює різні аспекти і наслідки реалізації ризикованих подій. Розробка сценаріїв успішного подолання різних форм невизначеності буде передбачати застосування «власних пулів» інструментів. Так, варіантами реагування на загальну невизначеність можуть бути: збір додаткової інформації; підготовка до декількох варіантів кінцевих результатів (наприклад, основне рішення та рішення з врахуванням форс мажорної ситуації); компромісні альтернативні рішення; реагування на несподівані зміни – розвиток стійкості.

Дослідження і розв'язання неоднозначності реалізується шляхом застосування:

- прогресивної декомпозиції, як ітеративного процесу підвищення рівня деталізації плану управління проектом за рахунок врахування більшого обсягу інформації та більш коректних оцінок;
- експериментів для виявлення причинно-наслідкових взаємозв'язків;
- прототипів для ідентифікації взаємозв'язків між різними змінними.

Зробити правильні прогнози та оцінки ймовірності потенційного кінцевого результату допоможуть інструменти «подолання зі складністю»: роз'єднання (відокремлення частин системи, зменшення кількості взаємопов'язаних змінних); симуляція компонентів системи; врахування багатогранності точок зору на систему; балансування між даними та ретроспективними показниками; ітерації; залучення стейкхолдерів; «запобіжні» заходи (наприклад, створення резервних копій).

В середовищах, схильних до швидких та неочікуваних змін, які впливають на вартість і розклад проекту, може виникати волатильність (volatility). Уникнути впливу волатильності на показники проекту можливо за рахунок аналізу альтернатив та використання резерву вартості та(або) розкладу.

Для ефективного управління ризиками команді ІТ проекту необхідно розглядати п'ять альтернативних стратегій:

- 1) уникнення (для загроз) або використання (для можливостей);
- 2) ескаляція (якщо реакція на ризик перевищує повноваження менеджера);
- 3) прийняття або розподіл наслідків ризиків третій стороною;

4) пом'якшення (для загроз) або посилення (для можливостей);

5) прийняття ризику без планування жодних заходів.

Про ефективне управління ризиками будуть свідчити створені артефакти виконання проекту, такі як: реєстр ризиків, план управління ризиками, ієрархічна структура ризиків, діаграма причин і наслідків, звіт про ризики, угоди та контракти та ін. (табл. 1).

Таблиця 1 – Відповідність артефактів управління ризиками використанню в сферах виконання проекту

Артефакти управління ризиками	Сфера «Виконання»					
	Стейкхолдери	Планування	Проектна робота	Постачання	Вимірювання	Невизначеність
Артефакти журналів та реєстрів						
Журнал припущень		X	X	X		X
Беклог з урахуванням ризиків		X				X
Реєстр ризиків		X	X	X		X
Артефакт-план						
План управління ризиками		X	X			X
Артефакт діаграм ієрархії						
Ієрархічна структура ризиків			X			X
Артефакт інформації та візуальних даних						
Діаграма причин і наслідків			X	X		X
Артефакт звітності						
Звіт про ризики			X			X
Угоди та контракти						
З фіксованою вартістю	X	X	X	X	X	X
З відшкодуванням витрат	X	X	X	X	X	X
Контракт «Час та матеріали»	X	X	X	X	X	X
Невизначене постачання невизначеної кількості (Indefinite time indefinite quantity, IDIQ)	X	X	X	X	X	X
Інші угоди	X	X	X	X	X	X

Міжнародним стандартом «ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines» [5] визначено принципи та рекомендації щодо комплексного підходу для виявлення, аналізу, оцінки, реагування, моніторингу та передачі інформації про ризики. До інструментів і методів пом'якшення загроз та посилення можливостей включено:

- всебічне розуміння (Comprehensive Understanding): сприяє спільному розумінню ризиків, їх природи та способів управління ними в усій організації;

- прийняття стратегічних рішень (Strategic Decision-Making): рекомендації допомагають включити управління ризиками в процеси управління, стратегії, планування, звітності, політику, цінності та культуру організації;

- операційна досконалість (Operational Excellence): впровадження ISO 31000 може привести до підвищення ефективності, оскільки допомагає організаціям вчасно розпізнавати потенційні загрози та можливості, розумно розподіляти ресурси та підвищувати довіру зацікавлених сторін;

- проактивний підхід (Proactive Approach): ISO 31000 надає організаціям можливість передбачати та вирішувати ризики безпосередньо, перетворюючи потенційні виклики на стратегічні переваги;

- довіра зацікавлених сторін (Stakeholder Confidence): структурований підхід до управління ризиками сигналізує зацікавленим сторонам – від інвесторів до клієнтів – про те, що організація надійно готова долати невизначеності, зміцнюючи довіру та надійність.

У стандарті [6] визначено компоненти управління ризиками для інтеграції на рівні управління портфелями, програмами та проектами. Життєвий цикл управління ризиками (Risk Management Life Cycle, RMLC) окреслює послідовність логічних фаз/процесів [6, с. 28–29], які корелюються з сьомо процесами області знань «Project Risk Management» [1, 2]. Для ефективного управління ризиками та виконання процесів RMLC необхідно дотримуватись принципів (Principles of Risk Management) [6]:

- досягнення досконалості в практиці управління ризиками;

- узгодження управління ризиками з організаційною стратегією та практикою управління;

- зосередження на найбільш вагомим і впливовим ризиках;

- дотримання балансу між впливом на ризик та досягнутої цінності проекту;

- сприяння культурі управління ризиками;

- подолання складності для досягнення успішних результатів проекту завдяки управлінню ризиками;

- постійне удосконалення навичок з управління ризиками.

Отже, управління ризиками IT-проектів є багатогранним процесом, що охоплює ідентифікацію, аналіз, планування та реагування на ризики з урахуванням сучасних стандартів і кращих практик. Використання структурованих підходів, таких як PMBOK, ISO 31000 та RMLC, дозволяє мінімізувати невизначеність, підвищити гнучкість у прийнятті рішень і забезпечити ефективне досягнення цілей проекту. Водночас, зростання складності IT-проектів потребує постійного вдосконалення методичного інструментарію для аналізу та реагування на ризики.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є окреслення публікаційного кола знань з управління ризиками IT проектів та ідентифікація сучасних інструментів, методів, артефактів для ефективного управління ризиками.

Для досягнення поставленої мети дослідження були сформульовані наступні завдання:

- здійснити пошук дисертаційних досліджень з управління ризиками IT проектів, окреслити наявні науково-практичні результати та виявити дослідницькі прогалини;

- проаналізувати публікації за тематикою «управління ризиками IT проектів», розміщені у науково-метричній базі Scopus, шляхом розробки бібліографічних карт із використанням VosViewer Software.

Аналіз дисертаційних досліджень з управління IT проектами. Управління ризиками IT проектів досліджується в контексті різних галузей знань: інформаційних технологій [7–9], управління та адміністрування [10, 11], економіки [12, 13].

У дисертації [7] авторкою розроблено комплекс моделей інтегрованого управління загрозами та можливостями в IT проектах. Запропонована модель RIO-RIT-REO-RET-аналізу дозволяє на етапі ідентифікації ризиків аналізувати проект з точки зору: сильних або слабких сторін, сприятливих можливостей та загроз. Застосовуючи інтелектуальну модель вибору оптимальної стратегії управління ризиками (загрозами та можливостями) можна враховувати графі розвитку подій, синергію можливих загроз та можливостей.

У [8] ризик розглядається крізь призму випадків: «IT-інцидентів» та «IT-загроз». Автором запропоновано метод визначення стану захищеності об'єктів критичної інформаційної інфраструктури від IT ризиків, який передбачає виконання наступних дій: визначення загальних метрик IT-безпеки; обчислення індексу цифрової трансформації; розрахунок кількісних параметрів стану захищеності та аналізу результатів з розробкою рекомендацій для оптимізації захисту. Для визначення пріоритетів IT-інцидентів застосовується метод парних порівнянь (метод аналізу ієрархій), для оцінювання IT-загроз – методи багатокритеріального прийняття рішень TODIM (Interactive Multi-Criteria Decision Making.), STRIDE (Spoofing, Tampering, Repudiation, Information disclosure, Denial of service, Elevation of privilege).

В [9] акцентується увага на інформаційних ризиках, які супроводжують процес цифрової трансформації бізнесу і призводять до втрати конфіденційності, цілісності та доступності інформації в компанії. Автором запропонована «концептуальна модель управління інформаційними ризиками в проектах цифрової трансформації бізнесу», яка ґрунтується на організаційному підході: «оточення → організація → проект». Такий підхід дозволяє на етапі оптимізації бізнес-процесів дозволяє врахувати імовірність настання інформаційних ризиків та обирати той варіант оптимізаційного процесу, який буде найменш ризикованим та відповідати вимогам стейкхолдерів проекту.

У дисертації [10] досліджувались теоретичні, методичні та практичні аспекти формування системи управління ризиками в IT-проектах. Запропонована автором інтегрована система управління ризиками IT-

проєкту включає: визначення цілей проєкту, схильності до ризику, комунікацію рівня схильності до ризику в команді і узгодження його із зацікавленими сторонами, впровадження ризик-апетиту в загальні процеси управління проєктом, моніторинг ризик-апетиту в процесі виконання проєкту. Процес формування програми управління ризиками проєкту розглядається як цикл з шести етапів: ідентифікація ризиків; аналіз ризиків проєкту; планування зменшення впливу ризиків; моніторинг ризиків; закриття ризиків в реєстрі ризиків; бюджетування ризиків. Запропонований підхід дозволить проєктним менеджерам розробляти програми управління ризиками проєкту з врахуванням контексту та інтересів усіх стейкхолдерів.

В [11] розроблено комплекс рішень для організаційно-економічного забезпечення системи управління проєктними ризиками в ІТ-компаніях. Запропонований концептуальний підхід до формування системи управління проєктними ризиками передбачає синхронізацію усіх складових системи (елементів і процесів): мету; суб'єкти; об'єкти; засоби управлінського впливу; три основні функціональні підсистеми забезпечення (організаційну, економічну та поведінкову); етап діагностики та моніторингу. В рамках організаційного підходу до функціонування команди проєкту, яка використовує гнучкі методології (Scrum, Lean та Kanban), ідентифіковано основні проблеми, що виникають у процесі реалізації проєкту в ІТ-секторі, та запропоновано дії реагування на фактори впливу на ефективність.

Авторкою дисертації [12] представлена концепція ризик-орієнтованого управління системою економічної безпеки підприємства, яка поєднує підходи, принципи, методи та інструменти ризик-орієнтованого управління із методологічними засадами забезпечення економічної безпеки. Запропонований комплекс інструментів управління ризиками (класифікатор ризиків, матриця ризиків, вимоги до кваліфікації ризик

менеджера, перелік ризиків і загроз економічної безпеки та ін.) враховує особливості практики українських ІТ компаній.

В дисертаційній роботі [13] досліджувались теоретико-методичні та прикладні засади розвитку управління ризиками в телекомунікаційних підприємствах у нових економічних реаліях (повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну). Запропоновані методичні підходи до модернізації механізму розвитку управління ризиками ґрунтуються на структуруванні контрольно-дозвільної комплаєнс-функції та запровадженні проактивних методів управління. Розроблено кватровекторну модель розвитку управління ризиками на телекомунікаційних підприємствах та модель взаємозв'язку «стратегічні наміри – ризики» з врахуванням: ризиків, пов'язаних з воєнним та післявоєнним відновленням; ризиками реструктуризації, модернізації та розвитку; інвестиційними ризиками, комплаєнс-ризиками, ІТ-ризиками.

Бібліометричний аналіз досліджень з управління ризиками ІТ проєктів. В науково-метричній базі Scopus за результатом пошукового запиту «Information AND technology AND project AND risk AND management» виявлено 4 306 документів, опублікованих у 1963-2025 роках, більшість з яких презентовані за останні 10 років (2 160 документів, 2015–2025 pp.). В результаті бібліометричного аналізу за предметом дослідження виявлено, що дослідницькі завдання з управління ризиками ІТ проєктів виконувались в контексті 27 областей (галузей) знань: від інженерії та комп'ютерних наук до мистецтва та гуманітарних наук (див. рис. 1). На наступному етапі аналізувались публікації, які відносились до галузі інженерії (Engineering), комп'ютерних наук (Computer Science), бізнесу і менеджменту (Business, Management and Accounting) – 1 597 документів.

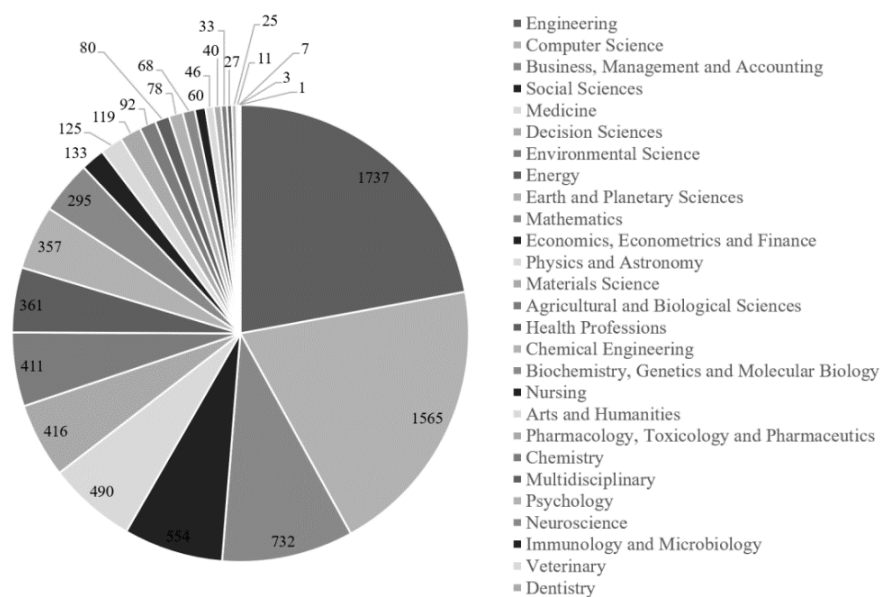


Рис. 1. Репрезентативність публікацій з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus, за предметними областями (галузями)

Для публікації результатів досліджень автори частіше обирали журнали:

- «ACM International Conference Proceeding Series» (37 документів);
- «Applied Mechanics and Materials Series» (32 документа);
- «Lecture Notes in Networks and Systems» (31 документ);
- «Ceur Workshop Proceedings» (30 документів);
- «Procedia Computer Science» (29 документів).

Водночас найбільш цитовані публікації розміщені у таких виданнях як:

- Australasian Journal of «Construction Economics and Building» (стаття [14] цитувалась 559 раз);
- IEEE Transactions on Software Engineering (стаття [15] цитувалась 557 раз);
- «Journal of Construction Engineering and Management» (стаття [16] цитувалась 546 раз);
- «Journal of Construction Engineering and Management» (стаття [17] цитувалась 406 раз);
- «IEEE Communications Surveys and Tutorials» (рецензія [18] цитувалась 395 раз).

Географія досліджень з управління ризиками ІТ проєктів охоплює авторів з 88 країн світу, зокрема: Сполучених Штатів Америки (322 документів), Китаю (208 документів), Великої Британії (126 документів), Австралії (64 документа), Канади (54 документа), України (25 документів). Найбільшу кількість публікацій мають дослідники, які працюють у таких установах, як:

- The Hong Kong Polytechnic University (Китай) – 12 документів;
- Georgia State University (Грузія) та Huazhong University of Science and Technology (Китай) – по 11 документів;
- Universiti Teknologi MARA (Малазія) та University of Tehran (Іран) – по 10 документів.

Важливим елементом бібліометричного аналізу є частота використання ключових слів. Встановлено, що у 1597 досліджуваних документах міститься 160 ключових слів, такі як:

- «Project Management» (згадується у 654 документах);
- «Risk Management» (згадується у 539 документах);
- «Project Management» (згадується у 529 документах);
- «Information Technology» (згадується у 427 документах);
- «Risk Assessment» (згадується у 377 документах);
- «Information Management» (згадується у 310 документах).

Застосування веб-інструменту WordItOut дозволило згенерувати хмару ключових слів на тему «управління ризиками ІТ проєктів» (див. рис. 2). Діаграма частоти використання ключових слів представлена на рис. 3.



Рис. 2. Хмара ключових слів публікацій з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus, із використанням онлайн-інструменту WordItOut

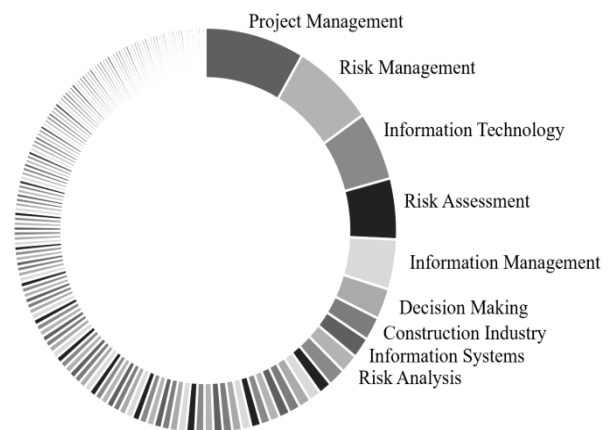


Рис. 3. Діаграма частоти згадування ключових слів у публікаціях з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus

Кластерний аналіз досліджень з управління ризиками ІТ проєктів здійснювався із використанням програми VOSviewer. На рис. 4 наведена бібліометрична карта для 123 ключових слів (які відповідали обмеженню «мінімальна кількість повторів – 5»), структурованих у 12 кластерів:

- кластер 1 (червоний колір) – 17 ключових слів (project risk management, risk control, risk evaluation, risk identification, risk mitigation, asset management knowledge management та ін.);
- кластер 2 (зелений колір) – 15 ключових слів (evaluation, project performance, blockchain, virtual reality, ontology, sustainable development та ін.);
- кластер 3 (синій колір) – 14 ключових слів (artificial intelligence, machine learning, natural language processing, neural networks, data analysis, decision support system та ін.);
- кластер 4 (гірчичний колір) – 12 ключових слів (change management, digital technologies, digital transformation, industry 4.0, information system, supply chain management та ін.);
- кластер 5 (фіолетовий колір) – 11 ключових слів (cyber security, information security, security, privacy, trust, interoperability, big data та ін.);

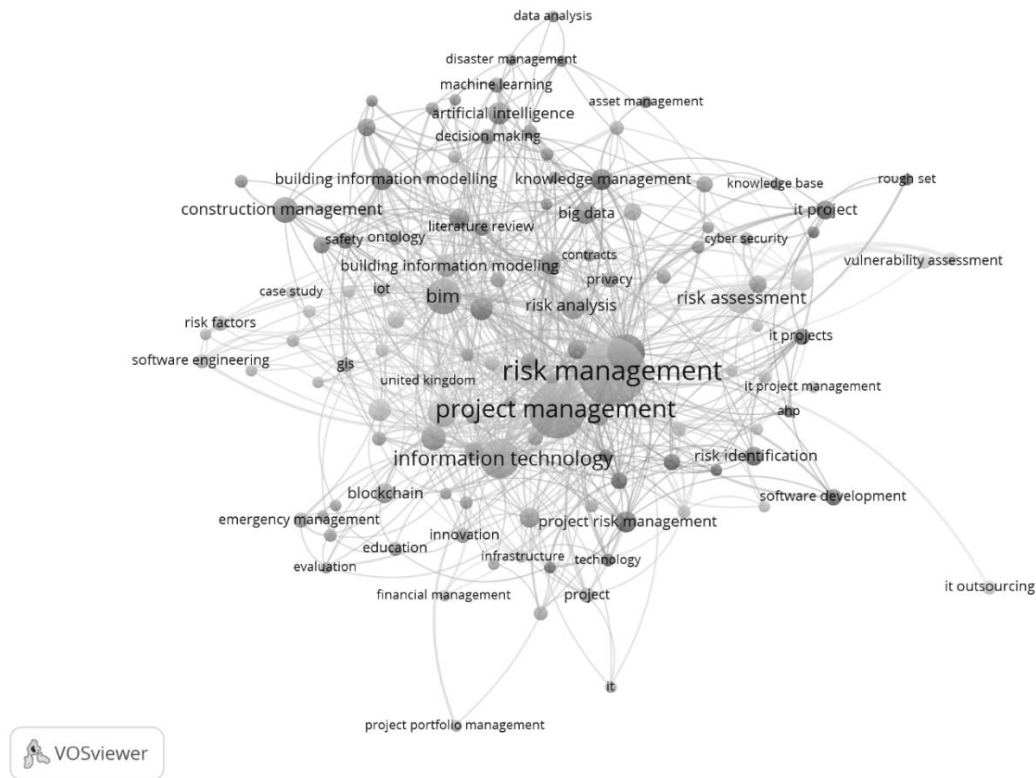


Рис. 4. Бібліометрична карта кластерів ключових слів (items) публікацій з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus

- кластер 6 (бірюзовий колір) – 11 ключових слів (cloud computing, internet of things, risk factors, risk management, project planning, scheduling та ін.);

- кластер 7 (помаранчевий колір) – 10 ключових слів (adoption, integration, stakeholders, strategy, bim, construction safety та ін.);

- кластер 8 (коричневий колір) – 10 ключових слів (decision making, information management, information systems, safety management, building information modelling та ін.);

- кластер 9 (рожевий колір) – 10 ключових слів (data mining, decision support systems, project portfolio management, risk analysis та ін.);

- кластер 10 (кораловий колір) – 8 ключових слів (critical success factors, e-government, implementation, it governance та ін.);

- кластер 11 (салатовий колір) – 4 ключових слова (cybersecurity, process safety lifecycle, risk assessment, vulnerability assessment);

- кластер 12 (блакитний колір) містить тільки одне ключове слово – «IT outsourcing».

Для 123 ключових слів програма VOSviewer встановила 671 взаємозв'язків. При цьому програма дозволяє «підсвічувати» взаємозв'язки для кожного слова (див. рис. 5). Примітно, що за останні два роки в дослідженнях з управління ризиками в ІТ проєктах використовувались ключові слова: artificial learning, machine learning, blockchain, digital transformation, internet of things, dig data, digital twin, natural language processing, automation (див. рис. 5).

Структуризація ключових слів за кластерами дозволила виявити, що значна кількість досліджень з управління ризиками ІТ проєктами (опублікованих у Scopus) стосується використання технологій інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), геоінформаційних систем, (Geographic information system, GIS), інтелектуальних систем та автоматизації в будівництві (табл. 2):

- кластер 2. Геоінформаційні системи (ГІС), блокчейн та віртуальна реальність для сталого розвитку;

- кластер 3. Інтелектуальні системи та автоматизація в управлінні інженерними проєктами;

- кластер 4. Цифрова трансформація та управління змінами в інженерії;

- кластер 5. Інформаційна безпека, великі дані та довіра в управлінні проєктами;

- кластер 6. Управління ризиками в розробці програмних продуктів на основі BIM, IoT та хмарних технологій;

- кластер 7. Цифрове будівництво: стратегії, безпека та співпраця;

- кластер 8. Цифрові технології для управління безпекою в будівництві.

Менш популярними предметами дослідження були питання електронного урядування (Кластер 10. Управління проєктами e-Government) та кібербезпеки (Кластер 11. Управління ризиками кібербезпеки).

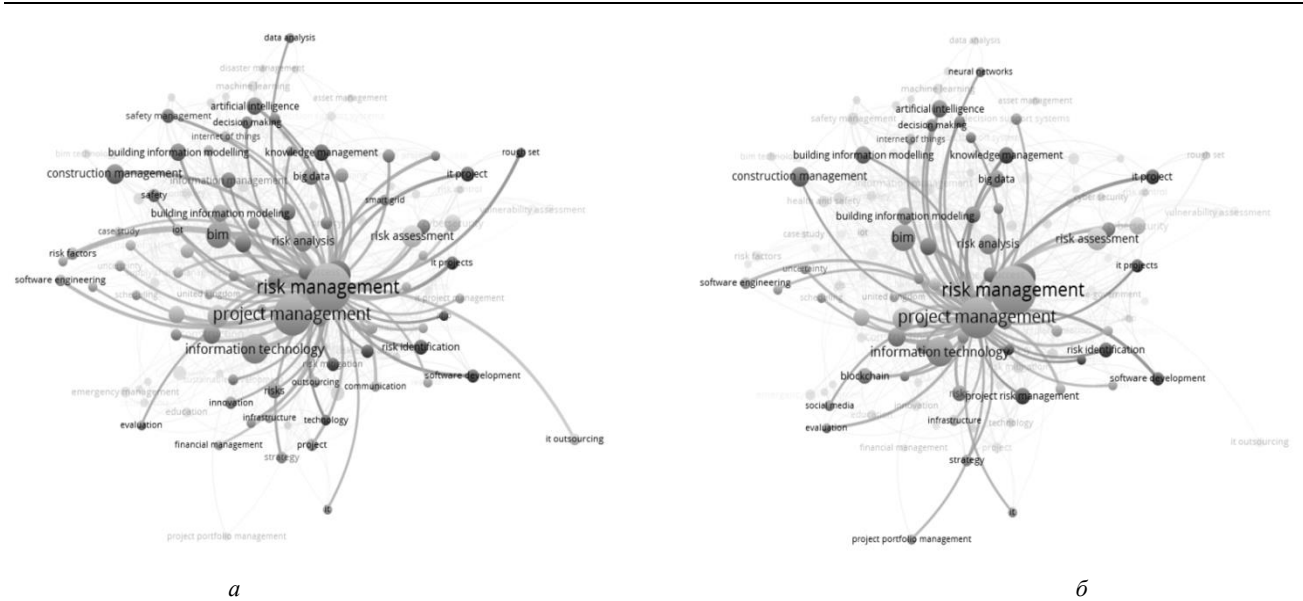


Рис. 5. Приклади бібліометричних карт для вибраних ключових слів (items) з «підсвіченням» взаємозв'язків:
а – «Risk Management»; б – «Project Management»

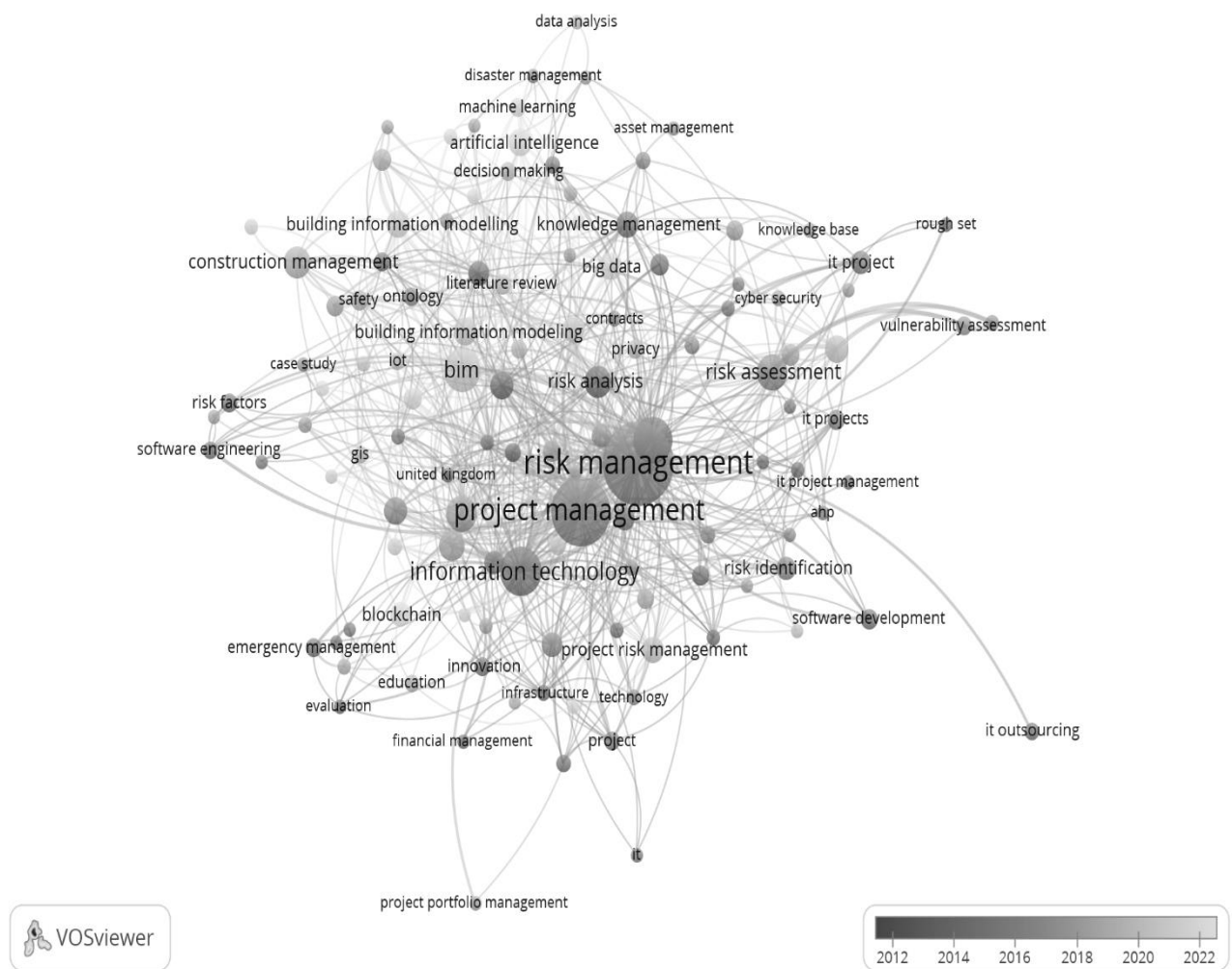


Рис. 6. Бібліометрична карта ключових слів (items) публікацій з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus

Таблиця 2 – Структуризація ключових слів (items) у дослідженнях з управління ризиками ІТ проєктів, розміщених у науково-метричній базі Scopus

Назва кластеру	Ключові слова (items)	Опис кластеру
Кластер 1. Методи управління ризиками та активами в ІТ проєктах	- Project risk management; Risk; Risk control; Risk evaluation; Risk identification; Risk mitigation; Asset management Knowledge management; - AHP (Analytic Hierarchy Process); Fuzzy Logic; Rough Set; - IT project; IT projects; Software Development; Technology; Complexity; COVID-19	Охоплює концепції, методи та інструменти для управління ризиками в ІТ проєктах. Також поєднує підходи до оцінки ризиків, прийняття рішень, управління активами та технологічні аспекти, що забезпечують ефективне управління невизначеністю та складністю високотехнологічних проєктів
Кластер 2. Геоінформаційні системи (ГІС), блокчейн та віртуальна реальність для сталого розвитку	- Risks; Evaluation; Project performance; - Blockchain; GIS (Geographic information system); Virtual reality; Social media; Innovation; Ontology; - Sustainable development; Emergency management; Construction; Education; Earth observation; Natural disasters	Включає технології та методи управління ризиками ІТ проєктів, що допомагають враховувати контекст, зокрема: кризового менеджменту, аналізу природних загроз, будівництва, освіти, сталого розвитку. Використання блокчейну, ГІС, віртуальної реальності та соціальних медіа допомагає мінімізувати ризики, підвищити ефективність проєктів та сприяти їх безпечному розвитку.
Кластер 3. Інтелектуальні системи та автоматизація в управлінні інженерними проєктами	- Artificial Intelligence (AI); Machine Learning (ML); Natural Language Processing (NLP); Neural Networks; - Data analysis; Decision support system; Automation; Disaster management; Building Information Modeling (BIM); Sensors; - Construction project management; Design; Literature review; Project success	Відображає застосування інноваційних технологій у сфері управління ризиками ІТ проєктів переважно у будівництві та інженерії, такі як: штучний інтелект (AI), автоматизацію, аналіз даних, BIM, сенсори та системи підтримки прийняття рішень (DSS). Ці технології використовуються для зменшення ризиків і підвищення ефективності проєктів.
Кластер 4. Цифрова трансформація та управління змінами в інженерії	- Change management; Digital technologies; Digital transformation; Industry 4.0; - Information system; Radio-Frequency Identification (RFID); Supply chain management; Financial management - Infrastructure; Case study; Construction industry; United Kingdom	Охоплює ключові аспекти (технічні, фінансові, організаційні та операційні), які супроводжують ризики цифрової трансформації та впровадження Індустрії 4.0 в інженерії, у тому числі будівництві, логістиці
Кластер 5. Інформаційна безпека, великі дані та довіра в управлінні проєктами	- Cyber security; Information security; Security; Privacy; Trust; - Interoperability; Big Data; Construction project; Contracts; Knowledge base; Smart Grid	Об'єднує аспекти кібербезпеки, довіри, конфіденційності, великих даних і цифрової інфраструктури у контексті управління ризиками ІТ проєктів у будівництві та енергетиці (Smart Grid)
Кластер 6. Управління ризиками в розробці програмних продуктів на основі BIM, IoT та хмарних технологій	- BIM; Cloud Computing; Internet of Things (IoT); - Risk factors; Risk management; Project planning; Scheduling - Software engineering; Software risk; Uncertainty	Відображає взаємозв'язок між управлінням ризиками, плануванням, розробкою програмного забезпечення та специфікою застосування BIM-технологій, IoT і хмарних обчислень
Кластер 7. Цифрове будівництво: стратегії, безпека та співпраця	- Adoption; Integration; Stakeholders; Strategy; - BIM; Collaboration; Construction Safety; Digital Twin; Supply chain	Характеризує комплексний підхід впровадження BIM, що враховує взаємозв'язок цифрових технологій та організацією співпраці між різними учасниками, безпекою для досягнення стратегічних завдань та управління ризиками
Кластер 8. Цифрові технології для управління безпекою в будівництві	- Decision making; Information management; Information systems; Safety management; - BIM technology; Building information modelling; Construction management; Health and safety; Occupational health and safety; Safety	Відображає взаємозв'язок між управлінням ІТ ризиками та впровадженням цифрових технологій у будівництві. Успішне управління цими ризиками дозволяє підвищити ефективність будівельних процесів, покращити безпеку праці та мінімізувати можливі технічні та організаційні загрози.
Кластер 9. Аналітика для управління ризиками ІТ проєктів	Data mining; Decision Support Systems; Information technology; IT; Management; Outsourcing; Project; Project Management; Project Portfolio Management; Risk Analysis	Охоплює аспекти використання сучасних технологій аналізу даних, системи підтримки прийняття рішень для мінімізації ризиків, оптимізацію ресурсів та стратегічне управління портфелем ІТ проєктів
Кластер 10. Управління проєктами e-Government	Communication; Critical success factors; E-Government; Implementation; Information technologies; IT Governance; IT project management; Research	Характеризує ключові аспекти управління ризиками ІТ проєктів цифрового врядування (e-Government), ефективного управління комунікаціями та забезпечення відповідності стандартам управління (IT Governance)
Кластер 11. Управління ризиками кібербезпеки	Cybersecurity; Process safety lifecycle; Risk assessment; Vulnerability assessment	Основна увага приділяється ідентифікації потенційних кіберзагроз, оцінці ризиків, розробці стратегій реагування та забезпечення безперервної безпеки інформаційних систем
Кластер 12. ІТ Outsourcing: управління, стратегії та інтеграція	IT outsourcing	Передбачає передачу зовнішнім постачальникам ІТ функцій, таких як: стратегічне планування, управління ризиками, інтеграція зовнішніх рішень, ефективна взаємодія зі стейкхолдерами. Основна увага приділяється вибору підрядників, управлінню контрактами, контролю якості послуг, забезпеченню безпеки даних та оптимізації витрат.

Подальший пошук публікацій більш релевантних до наукових інтересів дослідника може базуватись на обмеженні пошуку за ключовими словами відповідного кластера(рів). Наприклад, задавши обмеження пошуку словами «Security of Data», «Safety

Management», «Cybersecurity», «Cyber Security» із 1 597 документів було відібрано 210 публікацій, з яких знайдено дев'ять документів, найбільш дотичних до тематики управління безпекою та кібербезпекою в ІТ проєктах (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Публікації з управління ризиками ІТ проєктів, розміщені у науково-метричній базі Scopus, які найбільш релевантні для Кластера 11. Управління ризиками кібербезпеки

Назва документу	Автор(ри)	Тип документа	Рік	Кількість цитат
Protecting Citizens' Personal Data and Privacy: Joint Effort from GDPR EU Cluster Research Projects [19]	de Carvalho R. M., Del Prete C., Martin Y S., Araujo Rivero R. M., Önen M., Schiavo F. P., Rumín Á. C., Mouratidis H., Yelmo J. C., Koukovini M. N., Yelmo J. C.	Article	2020	14
Cyberspace and Cybersecurity [20]	Kostopoulos G.K.	Book Chapter	2012	8
Development of Metamodel for Information Security Risk Management [21]	Salem M., Othman S. H., Al-Dhaqm A., Ali A.	Book Chapter	2023	8
The role of data governance in cybersecurity for E-municipal services: Implications from the case of Turkey [22]	Çubuk E. B. S., Zeren H. E., Demirdöven B.	Book Chapter	2022	4
Simulation of information security risks of availability of project documents based on fuzzy logic [23]	Shushura O. M., Asieieva L. A., Nedashkivskiy O. L., Havrylko Y. V., Moroz Y. O., Smailova S. S., Sarsembayev M.	Article	2022	4
Security infrastructure technology for integrated utilization of big data: Applied to the living safety and medical fields [24]	Miyaji S., Mimoto T.	Book	2020	3
Understanding lean & safety projects: Analysis of case studies [25]	Crema M., Verbano C.	Article	2017	2
Challenges in cybersecurity and privacy – the European research landscape [26]	Bernabe J. B., Skarmeta A.	Book	2019	1
Cyber Security Control Systems for Operational Technology [27]	Sriram S.	Book Chapter	2024	0

Висновки. Управління ризиками є невід'ємною частиною реалізації високотехнологічних проєктів. Для ефективного управління ризиками застосовуються різноманітні інструменти та методи, такі як збір і аналіз даних, стратегічне прийняття рішень, симуляція, прогресивна деталізація та інші. Дотримання стандартів [3–5] сприяє системному підходу до управління ризиками та підвищенню довіри зацікавлених сторін. Разом з тим, складність ІТ-проєктів та швидкі зміни середовища потребують безперервного удосконалення методичного інструментарію для аналізу та реагування на ризики.

Аналіз існуючих дисертаційних досліджень показав, що управління ризиками ІТ проєктів розглядається в контексті різних галузей знань, зокрема інформаційних технологій (спеціальності 122 – Комп'ютерні науки), управління та адміністрування, економіки і були захищені у 2021–2024 рр. Виявлено певні дослідницькі прогалини: по-перше, недостатня увага приділялась використанню динамічних методів аналізу ризиків (у тому числі, інструментів штучного інтелекту, машинного навчання), по-друге, відсутній ґрунтовний аналіз ризиків кібербезпеки в умовах цифрової трансформації та роботи з хмарними технологіями.

Бібліометричний аналіз публікацій, розміщених у науково-метричній базі Scopus, із використанням програми VOSviewer дозволив розробити бібліометричні карти ключових слів та візуалізувати

дослідницькі акценти у формуванні знань з управління ризиками ІТ проєктів. Описано дванадцять кластерів ключових слів: 1 – Методи управління ризиками та активами в ІТ проєктах; 2 – Геоінформаційні системи, блокчейн та віртуальна реальність для сталого розвитку; 3 – Інтелектуальні системи та автоматизація в управлінні інженерними проєктами; 4 – Цифрова трансформація та управління змінами в інженерії; 5 – Інформаційна безпека, великі дані та довіра в управлінні проєктами; 6 – Управління ризиками в розробці програмних продуктів на основі BIM, IoT та хмарних технологій; 7 – Цифрове будівництво: стратегії, безпека та співпраця; 8 – Цифрові технології для управління безпекою в будівництві; 9 – Аналітика для управління ризиками ІТ проєктами; 10 – Управління проєктами e-Government; 11 – Управління ризиками кібербезпеки; 12 – IT outsourcing: управління, стратегії та інтеграція.

Кластерний аналіз дозволив виявити, що більшість публікацій (сім кластерів із дванадцяти) презентують результати використання BIM-технологій GIS-систем та автоматизації в будівництві і в меншій мірі представлені рішення для управління ризиками проєктів електронного урядування та кібербезпеки.

Перспективним напрямком для подальших досліджень вбачається аналіз поведінкових аспектів ризик-менеджменту, застосування AI та Big Data для прогнозування та моделювання ризиків, а також управління ризиками кібербезпеки.

Список літератури

1. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide): Sixth Edition*. USA: Project Management Institute, 2017. 756 p.
2. Фесенко Т. Г. *Управління проектами: теорія та практика виконання проектних дій: навч. посібник*. Харків : ХНАМГ, 2012. – 181 с.
3. Фесенко Т. Г., Мохамед Абдулсалам Сієк Алі. Моделювання оцінки «Risk Management» в системі управління будівельними проектами. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки*. 2018. № 2. С. 120–127. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchdtu_2018_2_21.
4. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide: Seven Edition) and The standard for project management*. USA: Project Management Institute, 2021. 370 p.
5. *ISO 31000:2018. Risk management. Guidelines*. Switzerland, 2018. 16 p.
6. *The standard for risk management in portfolios, programs, and projects*. USA: Project Management Institute, 2019. 175 p.
7. Грабіна К. В. *Моделі та методи інформаційної технології управління ризиками в IT-проектах: дис. ... д-ра філос. : 122 – Комп'ютерні науки*. Сум.ДУ. Суми, 2024. 185 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/97100/1/Hrabina_K_PhD_thesis.pdf. (дата звертання : 19 січня 2025).
8. Положенцев А. А. *Методи та засоби управління IT-інцидентами на об'єктах критичної інформаційної інфраструктури: дис. ... д-ра філос. : 122 – Комп'ютерні науки*. НАУ. Київ, 2024. 180 с. URL: <https://vchenarada.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/07/disertatsiya-Polozhentsev.pdf>. (дата звертання : 19 січня 2025).
9. Семко О. В. *Інформаційна технологія управління інформаційними ризиками в проєктах цифрової трансформації бізнесу: дис. ... д-ра філос. : 122 – Комп'ютерні науки*. ЧДТУ. Черкаси, 2024. 210 с. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/4792>. (дата звертання : 19 січня 2025).
10. Макачук І. В. *Управління ризиками IT-проектів на підприємстві: дис. ... д-ра філос. : 073 – Менеджмент*. ДТЕУ. Київ, 2023. 254 с. URL: <https://knute.edu.ua/file/Mg==/adcd9a7a02ff2aff4977bfaab4ba86ba.pdf>. (дата звертання : 19 січня 2025).
11. Іванов М. Є. *Організаційно-економічне забезпечення системи управління проектними ризиками в IT-компаніях: дис. ... д-ра філос. : 073 – Менеджмент*. НДЦ індустр. пробл. розв. Харків, 2023. 217 с. URL: https://ndc-ivr.org/media/spec_council/abstracts/Ivanov_MYe_PhD_Thesis_3.pdf. (дата звертання : 19 січня 2025).
12. Герасименко О. М. *Ризик-орієнтоване управління в системі економічної безпеки підприємства: дис. ... д-ра екон. наук. : 21.04.02 – економічна безпека суб'єктів господарської діяльності*. ЧНУ ім. Б. Хмельницького. ПБНЗ «КРОУ». Київ, 2021. 667 с. URL: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/disertatsiji-avtoreferati-vidguki/gerasimenko_2021-disertatsija.pdf. (дата звертання : 19 січня 2025).
13. Захаржевська А. А. *Розвиток управління ризиками телекомунікаційних підприємств: автореф. ... канд. екон. наук. : 08.00.04 – економіка та управління підприємствами*. Держ. ун-т телекомун. Київ, 2024. 24 с. URL: https://duikt.edu.ua/uploads/p_1537_93188893.pdf?file=p_1537_93188893.pdf. (дата звертання : 19 січня 2025).
14. Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building*. 2015. № 12(4). P. 15–28. doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032.
15. Putnam L. H. A General Empirical Solution to the Macro Software Sizing and Estimating Problem. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1978. № SE-4 (4). P. 345–361. doi.org/10.1109/TSE.1978.231521.
16. Zhang X. Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2005. № 131 (1). P. 3–14. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(3).
17. Carter G., Smith S. D. Safety hazard identification on construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2005. № 32(2). P. 197–205. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:2(197).
18. Khan R., Kumar P., Jayakody D. N. K., Liyanage M. A Survey on Security and Privacy of 5G Technologies: Potential Solutions, Recent Advancements, and Future Directions. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2020. № 22 (1). P. 196–248, 8792139. doi.org/10.1109/COMST.2019.2933899.
19. de Carvalho R. M., Del Prete C., Martin Y. S., Araujo Rivero R. M., Önen M., Schiavo F. P., Rumin A. C., Mouratidis H., Yelmo J. C., Koukovini M. N., Yelmo J. C. Protecting Citizens' Personal Data and Privacy: Joint Effort from GDPR EU Cluster Research Projects. *SN Computer Science*. 2020. № 1 (4). P. 217. doi.org/10.1007/s42979-020-00218-8.
20. Kostopoulos G. K. *Cyberspace and Cybersecurity*. 2012. 210 p.
21. Salem M., Othman S. H., Al-Dhaqm A., Ali A. Development of Metamodel for Information Security Risk Management. *Studies in Computational Intelligence*. 2023. № 1080. P. 243–253. doi.org/10.1007/978-3-031-21199-7_17.
22. Çubuk E. B. S., Zeren H. E., Demirdöven B. The role of data governance in cybersecurity for E-municipal services: Implications from the case of Turkey. *Handbook of Research on Cybersecurity Issues and Challenges for Business and FinTech Applications*. 2022. P. 410–425. doi.org/10.4018/978-1-6684-5284-4.ch020.
23. Shushura O. M., Asieieva L. A., Nedashkivskiy O. L., Havrylko Y. V., Moroz Y. O., Smailova S. S., Sarsembayev M. Simulation of information security risks of availability of project documents based on fuzzy logic. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. 2022. № 12 (3). P. 64–68. doi.org/10.35784/iapgos.3033.
24. Miyaji S., Mimoto T. Security infrastructure technology for integrated utilization of big data: Applied to the living safety and medical fields. *Singapore: Springer Nature*, 2022. 166 p.
25. Crema M., Verbano C. Understanding lean & safety projects: Analysis of case studies. *Journal of Technology Management and Innovation*. 2017. № 12 (4). P. 29–41. doi.org/10.4067/s0718-27242017000400004.
26. Bernabe J. B., Skarmeta A. *Challenges in cybersecurity and privacy – the European research landscape*. 328 p.
27. Sriram S. Security Control Systems for Operational Technology. *Industrial Control Systems*. 2024. P. 285–302. doi.org/10.1002/9781119829430.ch13.

References (transliterated)

1. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide): Sixth Edition*. Project Management Institute, 2017 756 p.
2. Fesenko T. G. *Upravlinnya proektamy: teoriya ta praktyka vykonannya proektnykh diy: navch. posibnyk* [Project Management: Theory and Practice of Project Activities: A Manual]. Kharkiv, KHNAMG, 2012. 18 p.
3. Fesenko T. G., Mohamed Addulsalam Seek Ali. Modelyuvannya otsinky «Risk Management» v systemi upravlinnya budivel'nyh proektamy [Modeling of “Risk Management” assessment in the construction project management system]. *Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya : Tekhnichni nauky* [Bulletin of Cherkasy State Technological University. Series: Technical Sciences]. 2018, no. 2. pp. 120–127. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchdtu_2018_2_21. (accessed 19.01.2025).
4. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide: Seven Edition) and The standard for project management*. USA, Project Management Institute, 2021. 370 p.
5. *ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines*. Switzerland, 2018. 16 p.
6. *The standard for risk management in portfolios, programs, and projects*. USA: Project Management Institute, 2019. 175 p.
7. Hrabina K. V. *Modeli ta metody informatsiyoi tekhnolohiyi upravlinnya ryzykamy v IT-proyektakh* [Models and methods of information technology risk management in IT projects]: dissertation ... Ph.D. : 122 – Computer Science / Sumy State University. Sumy, 2024. 185 p. Available at: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/97100/1/Hrabina_K_PhD_thesis.pdf. (accessed 19.01.2025).
8. Polozhentsev A. A. *Metody ta zasoby upravlinnya IT-intsydentamy na ob'yektyakh krytychnoyi informatsiyoi infrastruktury* [Methods and tools for managing IT incidents at critical information infrastructure facilities]: dissertation ... Ph.D. : 122 – Computer

- Science / NAU. Kyiv, 2024. 180 p. Available at: <https://vchenarada.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/07/disertatsiya-Polozhentsev.pdf>. (accessed 19.01.2025).
9. Semko O. V. *Informatsiyna tekhnolohiya upravlinnya informatsiynymy ryzykamy v proyektakh tsyfrovoyi transformatsiyi biznesu* [Information technology for managing information risks in digital business transformation projects]: dissertation ... Dr. Phil. : 122 – Computer Sciences / ChDTU. Cherkasy, 2024. 210 p. Available at: <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/4792>. (accessed 19.01.2025).
 10. Makarchuk I. V. *Upravlinnya ryzykamy IT-proyektiv na pidpryyemstvi* [Risk management of IT projects at the enterprise]: diss. ... Dr. Phil. : 073 – Management / DTEU. Kyiv, 2023. 254 p. Available at: <https://knute.edu.ua/file/Mg==/adcd9a7a02ff2aff4977bfaab4ba86ba.pdf>. (accessed 19.01.2025).
 11. Ivanov M. Ye. *Orhanizatsiyno-ekonomichne zabezpechennya systemy upravlinnya proektnymy ryzykamy v IT-kompaniyakh* [Organizational and economic support of the project risk management system in IT companies]: diss. ... Dr. Phil. : 073 – Management / NDC industrial problems development. Kharkiv, 2023. 217 p. Available at: https://ndc-ipr.org/media/spec_council/abstracts/Ivanov_MYe_PhD_Thesis_3.pdf. (accessed 19.01.2025).
 12. Gerasimenko O. M. *Ryzkyk-oriyentovane upravlinnya v systemi ekonomichnoyi bezpeky pidpryyemstva* [Risk-oriented management in the system of economic security of an enterprise]: dissertation ... Dr. of Economics. Sciences: 21.04.02 – economic security of economic entities / B. Khmelnytskyi National University of Ukraine. – PVNIZ “KROU”. Kyiv, 2021. 667 p. Available at: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/disertatsiji-avtoreferati-vidguki/gerasimenko_2021-disertatsiya.pdf. (accessed 19.01.2025).
 13. Zakharzhevska A. A. *Rozvytok upravlinnya ryzykamy telekomunikatsiynykh pidpryyemstv* [Development of risk management of telecommunications enterprises]: author's abstract ... candidate of economic sciences: 08.00.04 – economics and enterprise management / State University of Telecommunications. Kyiv, 2024. 24 p. Available at: https://duikt.edu.ua/uploads/p_1537_93188893.pdf?file=p_1537_93188893.pdf. (accessed 19.01.2025).
 14. Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building*. 2015, no. 12, issue 4, pp. 15–28. doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032.
 15. Putnam L. H. A General Empirical Solution to the Macro Software Sizing and Estimating Problem. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1978, no. SE-4, issue 4, pp. 345–361. doi.org/10.1109/TSE.1978.231521.
 16. Zhang X. Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2005, no. 131, issue 1, pp. 3–14. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(3).
 17. Carter G., Smith S. D. Safety hazard identification on construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2005, no. 32, issue 2, pp. 197–205. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:2(197).
 18. Khan R., Kumar P., Jayakody D. N. K., Liyanage M. A Survey on Security and Privacy of 5G Technologies: Potential Solutions, Recent Advancements, and Future Directions. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2020, no. 22, issue 1, pp. 196–248, 8792139. doi.org/10.1109/COMST.2019.2933899.
 19. de Carvalho R. M., Del Prete C., Martin Y. S., Araujo Rivero R. M., Önen M., Schiavo F. P., Rumin Á. C., Mouratidis H., Yelmo J. C., Koukovini M. N., Yelmo J. C. Protecting Citizens' Personal Data and Privacy: Joint Effort from GDPR EU Cluster Research Projects. *SN Computer Science*. 2020, no. 1, issue 4, pp. 217. doi.org/10.1007/s42979-020-00218-8.
 20. Kostopoulos G. K. *Cyberspace and Cybersecurity*. 2012, 210 p.
 21. Salem M., Othman S. H., Al-Dhaqm A., Ali A. Development of Metamodel for Information Security Risk Management. *Studies in Computational Intelligence*. 2023, no. 1080, pp. 243–253. doi.org/10.1007/978-3-031-21199-7_17.
 22. Çubuk E. B. S., Zeren H. E., Demirdöven B. The role of data governance in cybersecurity for E-municipal services: Implications from the case of Turkey. *Handbook of Research on Cybersecurity Issues and Challenges for Business and FinTech Applications*. 2022, pp. 410–425. doi.org/10.4018/978-1-6684-5284-4.ch020.
 23. Shushura O. M., Asieieva L. A., Nedashkivskiy O. L., Havrylko Y. V., Moroz Y. O., Smailova S. S., Sarsembayev M. Simulation of information security risks of availability of project documents based on fuzzy logic. *Informatyka, Automatyka, Pomiry w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. 2022, no. 12, issue 3, pp. 64–68. doi.org/10.35784/iapgos.3033.
 24. Miyaji S., Mimoto T. Security infrastructure technology for integrated utilization of big data: Applied to the living safety and medical fields. *Singapore: Springer Nature*, 2022, 166 p.
 25. Crema M., Verbano C. Understanding lean & safety projects: Analysis of case studies. *Journal of Technology Management and Innovation*. 2017, no. 12, issue 4, pp. 29–41. doi.org/10.4067/s0718-27242017000400004.
 26. Bernabe J. B., Skarmeta A. Challenges in cybersecurity and privacy – the European research landscape. 328 p.
 27. Sriram S. Security Control Systems for Operational Technology. *Industrial Control Systems*. 2024, pp. 285–302. doi.org/10.1002/9781119829430.ch13.

Надійшло (received) 19.01.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Ясинецький Олег Олегович (Yasinetskyi Oleh) – здобувач третього рівня вищої освіти (доктор філософії) ОНП «Інформаційні системи та технології» (126 – Інформаційні системи та технології)», Харківський Національний університет радіоелектроніки; e-mail: oleh.yasinetskyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8771-4465>.

Фесенко Тетяна Григорівна (Fesenko Tetiana) – доктор технічних наук, професор, Харківський Національний університет радіоелектроніки, професор кафедри електронних обчислювальних машин; e-mail: tetiana.fesenko@nure.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9636-9598>.

О. І. ШЕРСТЮК**МОДЕЛЬ ЦІЛЕПОКЛАДАННЯ У ПРОЄКТАХ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ**

Запропоновано комплексну модель цілепокладання 5С, яка виступає інструментом стратегічного управління проєктами розвитку підприємств морської галузі. Модель включає п'ять ключових етапів: Контекст (Context), Концепція (Concept), Співпраця (Collaboration), Побудова (Construction) та Безперервність (Continuity), що забезпечує системний підхід до управління проєктами. Розроблена модель базується на використанні сучасних математичних методів та алгоритмів, включаючи функцію ризиків, що дозволить кількісно оцінювати можливі загрози, інтегральну функцію ринкових умов для оцінки змін у конкурентному середовищі та методи оптимізації ресурсів, які мінімізують витрати та забезпечують їх ефективний розподіл. Особлива увага приділена коаліційній функції, що визначає ефективність взаємодії між учасниками проєкту, та методу Шеплі, який дозволить справедливо розподіляти вигоди між партнерами. Впровадження методу критичного шляху забезпечує оптимізацію розкладу виконання завдань, тоді як динамічна модель розвитку дозволяє оцінити довгострокову стійкість проєкту в умовах змінного ринкового середовища. Запропоновано механізм динамічної оптимізації, що сприяє постійному вдосконаленню процесів управління та прийняття обґрунтованих стратегічних рішень. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої моделі для проєктів розвитку підприємств морської галузі, особливо в умовах високої динамічності та невизначеності. Практичне застосування моделі дозволить підвищити конкурентоспроможність підприємств, мінімізувати ризики, забезпечити збалансований розвиток та інтегрувати принципи екологічного, соціального та корпоративного управління в управлінські процеси. У перспективі модель 5С може бути адаптована до інших галузей економіки, що потребують системного підходу до стратегічного управління проєктами.

Ключові слова: цілепокладання, стратегічне управління, оптимізація ресурсів, управління ризиками, коаліційна функція, метод критичного шляху, динамічна модель розвитку, динамічна оптимізація.

О. SHERSTIUK**GOAL-SETTING MODEL FOR DEVELOPMENT PROJECTS IN THE MARITIME INDUSTRY**

A comprehensive 5C goal-setting model is proposed as a tool for strategic project management in developing maritime industry enterprises. The model includes five key stages: Context, Concept, Collaboration, Construction, and Continuity, ensuring a systematic approach to project management. The proposed model is based on the application of modern mathematical methods and algorithms, including the risk function, which enables a quantitative assessment of potential threats, the integral function of market conditions for evaluating changes in the competitive environment, and resource optimisation methods, which minimise costs and ensure their efficient allocation. Special attention is given to the coalition function, which determines the effectiveness of interaction between project participants, and the Shapley value method, which ensures a fair distribution of benefits among partners. The critical path method is implemented to optimise the task execution schedule. At the same time, the dynamic development model allows for an assessment of the project's long-term stability in a changing market environment. A dynamic optimisation mechanism is proposed to facilitate the continuous improvement of management processes and the adoption of well-founded strategic decisions. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed model for development projects in the maritime industry, especially under conditions of high dynamism and uncertainty. The practical application of the model enhances enterprise competitiveness, minimises risks, ensures balanced development, and integrates the principles of environmental, social, and corporate governance into management processes. In the future, the 5C model can be adapted to other sectors of the economy that require a systematic approach to strategic project management.

Keywords: goal setting, strategic management, resource optimization, risk management, coalition function, critical path method, dynamic development model, dynamic optimisation.

Вступ. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується високим динамізмом, невизначеністю та посиленням глобальної конкуренції, що особливо яскраво проявляється в морській галузі. Трансформаційні процеси, зумовлені технологічними інноваціями, зміною кліматичних умов, геополітичними викликами та необхідністю забезпечення сталого розвитку, вимагають від підприємств морської галузі впровадження принципово нових підходів до стратегічного управління проєктами. Морська індустрія, яка забезпечує понад 80% міжнародних вантажних перевезень, перебуває в епіцентрі глобальних трансформацій. Діджиталізація, автоматизація, впровадження екологічно чистих технологій та посилення вимог до безпеки судноплавства створюють складний контекст для проєктного менеджменту. Традиційні методи управління проєктами виявляються недостатньо ефективними в умовах високої невизначеності та швидких змін зовнішнього середовища. Саме тому актуалізується потреба в розробці комплексних моделей цілепокладання,

здатних інтегрувати різнопланові аспекти проєктного управління – від стратегічного планування до забезпечення довгострокової стійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] висвітлюється динамічний вплив штучного інтелекту (ШІ) на стратегічне управління проєктами (SPM), акцентуючи увагу на трансформації традиційних підходів до управління завдяки використанню ШІ. Адаптивне планування за допомогою ШІ дозволяє не лише встановлювати цілі, але й коригувати їх у реальному часі відповідно до змін у внутрішньому чи зовнішньому середовищі. Це забезпечує більшу гнучкість у досягненні цілей і підвищує ймовірність успішної реалізації проєктів.

Робота [2] описує перехід морської галузі до ризико-орієнтованого підходу у встановленні цілей, що створює нові можливості для інженерів з охорони праці у використанні гнучких і вдосконалених моделей ризиків та підходів до прийняття рішень у проєктуванні та експлуатації. Ризико-орієнтований підхід дозволяє формувати цілі, які враховують

потенційні загрози та невизначеності, забезпечуючи більшу гнучкість і точність у досягненні результатів. Це підвищує ефективність управління процесами та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень, що відповідають стратегічним завданням галузі.

Стаття [3] досліджує використання хмарних симуляторів у морській освіті та навчанні як інноваційної платформи для доповнення професійної підготовки навчанням, заснованим на симуляціях. Адаптивні можливості симуляторів дозволяють налаштовувати навчальні цілі відповідно до індивідуальних характеристик курсантів, що забезпечує персоналізований підхід до досягнення освітніх і професійних завдань.

Стаття [4] досліджує концепцію обізнаності щодо ситуації у морській навігації, яка є критично важливою для забезпечення безпеки операцій у високоризиковій галузі морських перевезень. Знання вимог і факторів, що впливають на обізнаність щодо ситуації, дозволяє формувати чіткі цілі для вдосконалення навігаційних процедур, підготовки персоналу та впровадження інноваційних технологій, спрямованих на підвищення безпеки морських операцій. Робота [5] спрямована на розвиток стратегічного морського менеджменту як нової дисципліни, що сприяє дослідженню стратегічних питань у морській галузі. Автори адаптували існуючу модель зрілості академічних дисциплін, додавши до неї чотири фази динамічного еволюційного шляху для оцінки рівня зрілості дисципліни. Дану модель зрілості можна використовувати для виявлення прогалин і можливостей, які дозволяють формувати стратегічні цілі та визначати напрямки розвитку досліджень у морській галузі, забезпечуючи її довгострокову конкурентоспроможність.

Однак, у наведених роботах відсутній глибокий аналіз впливу сучасних технологій, таких як штучний інтелект, інтернет речей (IoT) та блокчейн, на стратегічне управління у морській галузі. Також недостатньо досліджено роль мультикультурних команд у реалізації міжнародних морських проєктів, зокрема вплив культурних відмінностей на комунікацію та прийняття рішень та потребують дослідження підходи до оцінки впливу екологічних інновацій на довгострокову стійкість у морських операціях, а також інтеграція принципів ESG (екологічного, соціального та корпоративного управління) у цілепокладання.

Метою статті є розробка теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій щодо впровадження комплексної моделі цілепокладання як ефективного інструменту управління проєктами розвитку підприємств морської галузі в умовах високої динамічності та невизначеності зовнішнього середовища.

Виклад основного матеріалу. З огляду на наведені дослідження, можна зробити висновок, що хоча окремі аспекти стратегічного управління, впровадження інноваційних технологій та аналізу ризиків у морській галузі були розглянуті, комплексного підходу, який би

поєднував ці елементи в єдину структуру, досі бракує. У зв'язку з цим виникає необхідність представити повноцінну інтеграційну модель цілепокладання, яка враховує всі ключові етапи управління морськими проєктами. Така модель, названа «5С», дозволяє забезпечити системний, гнучкий та адаптивний підхід до управління проєктами, зосереджуючи увагу на кожному з її етапів (див. рис.1): Контекст (Context), Концепція (Concept), Співпраця (Collaboration), Побудова (Construction) та Безперервність (Continuity).

Контекст у морській галузі формується на основі аналізу внутрішніх можливостей компанії (наприклад, технічний стан флоту, рівень цифровізації, наявність портової інфраструктури) та зовнішніх факторів (ринковий попит на перевезення, екологічні вимоги ІМО, регіональні та міжнародні регуляторні зміни). Ця інформація визначає необхідність розробки концепції, яка враховує стратегічні цілі, KPI та бізнес-модель роботи компанії. Водночас, концепція може змінювати контекст, якщо, наприклад, компанія вирішує вийти на нові ринки або переорієнтуватися на більш екологічні види пального.

Контекст включає не лише ринкове середовище, а й відносини з ключовими партнерами – портами, логістичними компаніями, суднобудівними заводами тощо. Співпраця є критично важливою для оптимізації ланцюгів постачання, обміну даними між портами та судновласниками (Port Community Systems), а також забезпечення відповідності стандартам безпеки та екологічності. Водночас, ефективна співпраця дозволяє адаптувати контекст, наприклад, через координацію із судноремонтними підприємствами або морське страхування.

Концепція в морському бізнесі передбачає не лише внутрішнє планування, але й розбудову партнерських відносин із морськими адміністраціями, страховими компаніями, вантажовласниками, екологічними агентствами. Наприклад, якщо компанія ухвалює концепцію «зеленого флоту», це означає необхідність співпраці з постачальниками LNG або альтернативних палив, а також інтеграцію з портами, які мають інфраструктуру для прийому таких суден. Водночас, співпраця може виявити нові можливості або виклики, що потребують коригування концепції.

Реалізація концепції в морській галузі часто означає будівництво або модернізацію суден та портової інфраструктури. Наприклад, якщо компанія вирішує інвестувати в цифрову трансформацію, це потребує впровадження систем автоматизованого управління флотом та IoT-технологій для контролю стану суден. Водночас, процес побудови або оновлення флоту може виявити необхідність коригування концепції через технічні або фінансові обмеження. Будівництво та модернізація в морській галузі неможливі без взаємодії між судновласниками, портами, регуляторними органами, суднобудівними верфями та постачальниками обладнання. Наприклад, якщо компанія будує нові контейнеровози, вона має узгоджувати їхні характеристики з портами, де вони будуть обслуговуватися. Співпраця також дозволяє

залучати фінансування через партнерські програми або державні субсидії на екологічні ініціативи.

У морській індустрії співпраця не завершується після будівництва судна чи терміналу – вона є постійним процесом. Наприклад, судноплавні компанії підтримують довготривалі контракти з портовими операторами, страховими агентствами та логістичними партнерами для забезпечення безперервної роботи флоту. Взаємодія з класифікаційними товариствами та міжнародними регуляторами (IMO, IACS) дозволяє компаніям адаптуватися до змін у стандартах безпеки та екологічних норм.

Побудова нового судна або інфраструктури – це лише початковий етап, після якого необхідно забезпечити її безперервну експлуатацію, технічне обслуговування та модернізацію. Наприклад, після спуску нового судна на воду компанія має впровадити систему моніторингу стану корпусу та механізмів (Condition-Based Maintenance), щоб зменшити простої через аварії. Також необхідно забезпечити відповідність змінюваним регуляторним вимогам, що може призводити до оновлення технічних стандартів флоту.

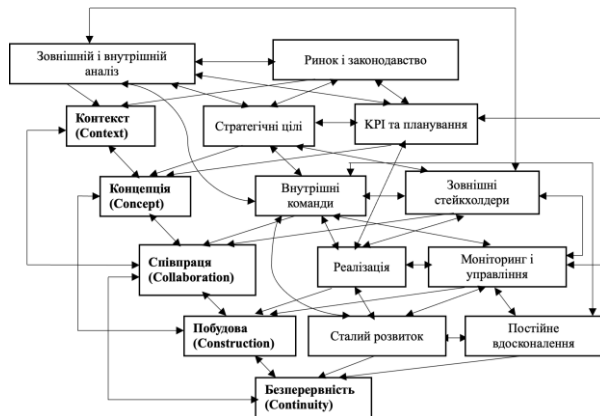


Рис.1. Етапи впровадження моделі 5C у проекти розвитку морської галузі

У процесі аналізу контексту (Context) особлива увага приділяється оцінці зовнішніх та внутрішніх чинників, що впливають на проєкт. Зовнішній аналіз охоплює макроекономічні показники та тенденції світової торгівлі, міжнародні регуляторні вимоги та екологічні стандарти, а також технологічні інновації та рівень діджиталізації галузі [6-8]. Важливим аспектом є також вивчення конкурентного середовища та ринкової динаміки, включаючи геополітичні фактори та торговельні відносини між країнами. Внутрішній аналіз зосереджується на оцінці технічного стану флоту та портової інфраструктури, кваліфікації персоналу та ефективності системи управління [9-10]. Особлива увага приділяється аналізу фінансових ресурсів та інвестиційних можливостей, а також оцінці операційної ефективності та якості послуг, що надаються. Мета цього етапу — оцінити ресурси, обмеження та можливості проєкту. Оцінку ресурсів можна здійснити за формулою (1).

$$R_i \geq D_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (1)$$

де R_i – наявний обсяг i -го ресурсу (фінанси, кадри, технології);

D_i – потреба проєкту в i -му ресурсі.

Проєкт може бути реалізованим, якщо кожен R_i не менший за D_i .

Для оцінки ризиків використовується функція ризиків (2).

$$Risk(x) = \sum_{j=1}^m p_j * L_j(x), \quad (2)$$

де p_j – ймовірність настання j -го ризику;

$L_j(x)$ – втрати від реалізації j -го ризику за умов плану x .

Функція ризиків дозволяє кількісно оцінити потенційні загрози, які можуть вплинути на реалізацію проєкту, і врахувати ці ризики під час прийняття рішень. Вона відображає ймовірність настання певних ризикових подій і їхні можливі втрати для проєкту [11].

Для оцінки ринкових умов застосовують інтегральну функцію (3). Інтегральна функція для оцінки ринкових умов використовується для аналізу змін у ринковому середовищі протягом певного часу. Ця функція дозволяє кількісно оцінити вплив різних факторів (економічних, політичних, технологічних тощо) на проєкт, враховуючи їх динаміку:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt, \quad (3)$$

де $F(t)$ – функція, що описує змінність ринкових трендів у часі.

На етапі формування концепції (Concept) відбувається визначення головних цілей проєкту та розробка конкретних задач для їх досягнення. Стратегічне планування включає формулювання чіткого бачення та місії проєкту, встановлення довгострокових та короткострокових цілей. У процесі операційного планування розробляються детальні плани реалізації, встановлюються ключові показники ефективності та визначаються необхідні ресурси і бюджет [12]. Важливим елементом є створення ефективної системи моніторингу та контролю за виконанням поставлених завдань. На цьому етапі визначаються цільова функція та обмеження. Цільовою функцією є максимізація ефекту, яка виражається формулою (4):

$$Z = \sum_{i=1}^n w_i * f_i(x), \quad (4)$$

де x — вектор рішень (план дій);

$f_i(x)$ – ефект від реалізації i -го завдання;

w_i – ваговий коефіцієнт важливості i -го завдання.

Обмеження виражаються формулою (5).

$$\sum_{j=1}^m c_{ij} * x_j \leq R_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (5)$$

де c_{ij} – витрати ресурсу i для реалізації рішення j ;

x_j – частка ресурсу, виділена на j -те завдання.

Ресурси, час та зусилля, які виділяються на виконання різних завдань або напрямів проєкту, мають бути розподілені таким чином, щоб забезпечити гармонійне досягнення цілей проєкту без перевантаження або нехтування окремими аспектами. Це можна описати за допомогою формули балансу між елементами (6).

$$\sum_{j=1}^k x_j = 1, \quad x_j \geq 0, \quad (6)$$

де x_j – частка ресурсу, виділена на j -те завдання (наприклад, бюджет, людські ресурси чи час).

k – загальна кількість завдань або напрямків у проєкті.

Баланс між елементами важливий для збереження цілісності проєкту, ефективного використання ресурсів та досягнення всіх цілей без диспропорцій у їх виконанні.

Співпраця (Collaboration) є критично важливим компонентом успішної реалізації проєктів у морській галузі. Внутрішня взаємодія передбачає формування ефективних проєктних команд та чіткий розподіл відповідальності між учасниками. Особлива увага приділяється налагодженню комунікаційних каналів між різними підрозділами та створенню системи мотивації персоналу. Зовнішня взаємодія охоплює партнерство з портами та логістичними компаніями, активну співпрацю з регуляторними органами та класифікаційними товариствами [13]. Важливим аспектом є також налагодження ефективної взаємодії з постачальниками, підрядниками та клієнтами. Для аналізу співпраці між учасниками в межах проєкту, особливо у випадках, коли успіх залежить від спільних зусиль декількох сторін, використовується коаліційна функція (7). Вона допомагає визначити, який внесок кожна група або учасник може зробити в загальний результат, оцінюючи синергетичний ефект від їхньої співпраці.

$$v(S) = \max_{i \in S} Z_i, \quad (7)$$

де $v(S)$ – загальний результат або цінність, досягнута коаліцією S ;

S – коаліція, тобто підмножина учасників N , які вирішили співпрацювати;

Z_i – внесок i -го учасника в коаліції S .

Для оцінки вкладу кожного учасника використовується метод Шеплі (8). Це підхід із теорії кооперативних ігор, який дозволяє справедливо розподілити загальну вигоду між учасниками коаліції залежно від їхнього внеску [14]. Цей метод особливо корисний у проєктах, де кілька сторін спільно

працюють для досягнення загальної мети, і потрібно визначити, який внесок кожен учасник зробив у загальний результат.

$$\phi_i = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|!(n-|S|-1)!}{n!} * (v(S \cup \{i\}) - v(S)), \quad (8)$$

де ϕ_i – внесок i -го учасника (Шеплі-значення);

N – множина всіх учасників коаліції (наприклад, n учасників);

S – підмножина учасників коаліції (без i -го учасника);

$v(S)$ – загальна вигода (коаліційна функція), досягнута підмножиною S ;

$v(S \cup \{i\})$ – загальна вигода, досягнута підмножиною S , якщо до неї приєднується i -й учасник;

$|S|$ – кількість учасників у підмножині S ;

$n!$, $|S|!$, $(n-|S|-1)!$ – факторіали, що враховують кількість можливих порядків кооперації;

$S \subseteq N \setminus \{i\}$ – сума ведеться по всіх підмножинах S , які не містять елемента i .

Метод визначає, як зміниться загальний результат коаліції ($v(S)$) за рахунок приєднання конкретного учасника (i) до підмножини S . Шеплі-вартості враховують всі можливі коаліції, у яких i -й учасник може брати участь, і його внесок у кожній з них. Значення ϕ_i визначає, яку частку загальної вигоди $v(N)$ має отримати i -й учасник, враховуючи його середній внесок у всіх можливих сценаріях.

Етап побудови (Construction) зосереджується на практичній поетапній реалізації розроблених планів та впровадженні необхідних змін. Технічна реалізація включає розробку детальних специфікацій та вимог, впровадження нових технологій та систем, а також модернізацію існуючої інфраструктури з урахуванням сучасних екологічних стандартів [6]. Управління процесами передбачає створення ефективної системи управління якістю, впровадження оптимізованих операційних процедур та розробку планів дій у надзвичайних ситуаціях. Розробка графіка реалізації завдань і контроль ресурсів є ключовим етапом управління проєктом, що забезпечує ефективне планування, координацію завдань і розподіл ресурсів. Це дозволяє завершити проєкт вчасно, у межах бюджету та з максимальним використанням доступних ресурсів. Метод критичного шляху (9) є потужним інструментом для ефективного планування та контролю проєктів. Він дозволяє чітко визначати, які завдання є пріоритетними, допомагає уникнути затримок і забезпечує успішне завершення проєкту в заплановані терміни.

$$T_{kp} = \max\{T_L\}, \quad (9)$$

де T_{kp} – тривалість критичного шляху (критичний час);

T_L – тривалість (довжина) будь-якого шляху.

Тривалість (довжина) будь-якого шляху T_L рівна сумі тривалості складових його робіт (10):

$$T_L = \sum t_{i-j}, \quad (10)$$

де t_{i-j} – тривалість роботи.

Оптимізація розподілу ресурсів має на меті забезпечити ефективне використання доступних ресурсів (час, гроші, люди, обладнання) для виконання завдань, мінімізуючи витрати та час, а також уникнути перевантаження або простоїв [15]. Це критично важливо для досягнення цілей проєкту в заданих обмеженнях. Цільовою функцією є мінімізація загальних витрат (11)

$$\min Z = \sum_{i=1}^n C_i * R_i, \quad (11)$$

де Z – загальні витрати на ресурси;

C_i – вартість одиниці ресурсу i ;

R_i – кількість використаних одиниць ресурсу i ;

n – кількість типів ресурсів.

Оптимізація розподілу ресурсів забезпечує баланс між витратами, часом та ефективністю виконання завдань. Вона є ключовим інструментом у проєктному менеджменті, що дозволяє досягти максимальних результатів у межах заданих обмежень.

Забезпечення безперервності (Continuity) є ключовим фактором довгострокового успіху проєктів розвитку морської галузі. Сталий розвиток досягається через впровадження екологічно чистих технологій та оптимізацію використання ресурсів [8]. Значна увага приділяється розвитку персоналу та підвищенню кваліфікації співробітників, а також постійному вдосконаленню процесів та систем. Управління змінами забезпечує здатність організації адаптуватися до нових умов ринку та впроваджувати інноваційні рішення, розвиваючи корпоративну культуру та підтримуючи довгострокову конкурентоспроможність. Цей етап передбачає підтримку результатів і довгостроковий розвиток. Динамічну модель розвитку можна описати формулою (12):

$$R_{t+1} = R_t + \alpha * (G_t - C_t), \quad (12)$$

де R_t – стан ресурсу або системи в момент часу t (наприклад, фінанси, виробничі потужності, людські ресурси);

R_{t+1} – стан ресурсу в момент часу $t+1$;

G_t – приріст ресурсу (прибуток, дохід, нові інвестиції) у момент часу t ;

C_t – витрати ресурсу (операційні витрати, втрати, амортизація) у момент часу t ;

α – коефіцієнт адаптації (враховує ефективність використання ресурсу).

Якщо приріст перевищує витрати ($G_t > C_t$), стан ресурсу зростає ($R_{t+1} > R_t$), що сприяє розвитку системи. Якщо приріст дорівнює витратам ($G_t = C_t$),

ресурс залишається на одному рівні ($R_{t+1} = R_t$). Якщо витрати перевищують приріст ($G_t < C_t$), стан ресурсу погіршується ($R_{t+1} < R_t$). Динамічна модель розвитку допомагає приймати обґрунтовані рішення для забезпечення сталого розвитку, зберігаючи баланс між витратами та приростом.

Для того, щоб знайти оптимальні рішення для певної функції корисності (результату), враховуючи динамічні зміни параметрів із часом, використовується метод динамічної оптимізації. Цей метод базується на динамічному підході до управління ресурсами, який дозволяє адаптувати стратегії та розподіл ресурсів до змінних умов проєкту. Він враховує, що параметри проєкту (наприклад, доступні ресурси, ринкові умови, технологічні інновації) можуть змінюватися з часом, і тому вимагає постійного оновлення планів та стратегій. Задачу динамічної оптимізації можна формально описати як максимізацію функції корисності в межах певного інтервалу часу, яка відображає ефективність використання ресурсів протягом часу з урахуванням динамічних змін середовища, за допомогою формули (13):

$$\max \int_{t_0}^{t_1} U(R_t, t) dt, \quad (13)$$

де $U(R_t, t)$ – функція корисності або результативності, яка залежить від стану ресурсу R_t у момент часу t ;

t_0, t_1 – початковий і кінцевий моменти часу;

R_t – стан ресурсу (наприклад, фінанси, продуктивність, людські ресурси) у момент часу t .

Динамічна оптимізація дозволяє динамічно адаптувати ресурси і стратегії до змінних умов, забезпечуючи ефективність у довгостроковій перспективі. Наприклад, у проєкті розвитку портової інфраструктури метод динамічної оптимізації ресурсів дозволяє моніторити стан фінансових ресурсів, людських ресурсів та технологічних можливостей, аналізувати, як зміни в ринкових умовах (наприклад, зростання цін на енергоресурси) впливають на проєкт та адаптувати стратегії розвитку, наприклад, впроваджувати енергоефективні технології або шукати нові джерела фінансування. Метод динамічної оптимізації можна також застосовувати в управлінні флотом. Наприклад, морська компанія прагне оптимізувати використання своїх кораблів для перевезення вантажів упродовж року, враховуючи змінні ринкові умови, обмежені ресурси та необхідність максимізації прибутку. У такій ситуації метод динамічної оптимізації дозволяє знайти оптимальний розподіл ресурсів у часі, щоб мінімізувати простой суден і максимізувати дохід, адаптувати маршрути і графік перевезень відповідно до сезонних змін у попиту та вартості перевезень, оптимізувати використання пального та мінімізувати супутні витрати, серед яких важливе місце

займають портові збори та логістичні витрати, що залежать від умов ринку.

Застосування моделі було апробовано на проєкті оптимізації контейнерних перевезень, що включав цифровізацію управління флотом, прогнозування затримок у портах та скорочення витрат на паливо. Для оцінки ефективності моделі 5С були використані ключові операційні показники судноплавної компанії (Таблиця 1), що займається контейнерними перевезеннями. Вони включають масштаб флоту, фінансові ресурси, середню тривалість рейсів та рівень простоїв у портах.

Таблиця 1 – Вхідні параметри моделювання

Показник	Значення
Кількість контейнеровозів	12 суден (14,000 TEU кожен)
Річний вантажообіг	12 млн TEU
Середня тривалість рейсу	28 днів
Середній час простою у портах	24–48 годин
Бюджет на оптимізацію	10 млн USD

Великий обсяг перевезень (12 млн TEU/рік) потребує високого рівня операційної оптимізації. Простої в портах (до 48 годин) можуть створювати значні затримки, що впливає на рентабельність рейсів.

Етап моделі 5С Контекст (Context) розглядає загальні ринкові умови та внутрішні аспекти управління компанією. Оцінка ризиків здійснюється за формулою (2). Результати оцінки ризиків наведені у Таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінка ризиків у сфері контейнерних перевезень

Ризик	Ймовірність (p_i)	Втрати ($L_j(x)$), тис. USD	Сумарний ефект, тис. USD
Затримки в портах	0,35	1000	350
Коливання вартості пального	0,3	800	240
Регуляторні зміни	0,15	600	90
Технічні збої	0,20	700	140
Загальний ризик			820

Отже, основним ризиком є ризик затримки в портах, що потребує вдосконаленого управління операціями. Коливання вартості пального впливає на загальні витрати компанії. Ризик технічних збоїв може спричинити потребу у додаткових витратах.

На етапі Концепції (Concept) на основі аналізу ризиків та стратегічних цілей визначено ключові напрямки фінансування для підвищення ефективності перевезень. За допомогою формули (4) визначено економічний ефект впровадження моделі 5С, враховуючи оптимізацію транспортних процесів, скорочення операційних витрат та відповідність екологічним нормам. Використання вагових

коефіцієнтів дозволить оцінити відносний вплив кожного критерію, що сприяє розробці стратегії ефективного управління контейнерними перевезеннями (Таблиця 3).

Таблиця 3 – Економічний ефект впровадження моделі 5С

Показник	Ваговий коефіцієнт (w_i)	Економічний ефект ($f_i(x)$), тис. USD
Скорочення операційних витрат	0,48	2400
Оптимізація транспортних процесів	0,32	1200
Дотримання екологічних норм	0,20	800
Сумарний економічний ефект $F(x)$	1,00	4400

Дана таблиця демонструє ключові фінансові вигоди, які компанія отримує від впровадження моделі 5С. Вона базується на оцінці ефективності транспортних процесів, економії операційних витрат і відповідності екологічним стандартам. Скорочення операційних витрат є основним параметром моделі, що визначає рівень оптимізації ресурсів і включає економію на паливі, скорочення витрат на технічне обслуговування та мінімізацію втрат через простої. Оптимізація транспортних процесів відбувається за рахунок впровадження цифрових технологій та коригування маршрутів, що сприяє більш швидкому виконанню рейсів. Дотримання екологічних норм включає заходи щодо зменшення викидів CO₂ та відповідність міжнародним стандартам ІМО.

На етапі Співпраці (Collaboration) формування стратегічних партнерств створило синергетичний ефект. За методом Шеплі (формула (8)) визначено розподіл внеску кожного учасника (Таблиця 4).

Таблиця 4 – Розподіл внесків між партнерами

Учасник	Внесок ϕ_i
ІТ-департамент	0,38
Логістичний департамент	0,28
Портові партнери	0,22
Постачальники технологій	0,12

Отже, ІТ-департамент отримує найвищий внесок, оскільки цифровізація є основним фактором успіху проєкту. Логістичний департамент має важливий вплив, оскільки його рішення безпосередньо впливають на операційну ефективність. Портові партнери відіграють значну роль у мінімізації затримок суден. Постачальники технологій мають найменший внесок, оскільки їхній вплив є підтримувальним, а не визначальним.

На етапі Побудови (Construction) реалізується впровадження стратегічних заходів, спрямованих на оптимізацію контейнерних перевезень. Визначено критичний шлях, що охоплює ключові етапи інтеграції цифрових рішень та логістичних процесів (Таблиця 5). Розрахунок часових параметрів

виконано за методом PERT, що дозволить структурувати послідовність реалізації. Загальна тривалість критичного шляху становить 10 місяців, включаючи такі ключові етапи: впровадження AI-аналізу (7 міс.) для прогнозування затримок у портах, інтеграція даних портів (9 міс.) для зниження простоїв суден та оптимізація маршрутів (10 міс.) для

скорочення витрат на паливо та підвищення ефективності флоту. Для кількісної оцінки впливу на загальні витрати використано формулу (11), що враховує вартість одиниці ресурсу (C_i), кількість використаних одиниць (R_i) та загальні витрати (Таблиця 6).

Таблиця 5 – Часова модель реалізації проєкту

Етап	Тривалість (міс.)	Ранній старт	Раннє завершення	Пізній старт	Пізнє завершення	Часовий резерв
Впровадження AI-аналізу	7	0	7	0	7	0
Інтеграція даних портів	9	7	16	7	16	0
Оптимізація маршрутів	10	16	26	16	26	0
Автоматизація процесів у портах	6	10	16	12	18	2
Динамічне управління флотом	8	18	26	19	27	1
Загальна тривалість T_{sp}	10	—	26	—	27	1

Таблиця 6 – Аналіз розподілу ресурсів

Тип ресурсу (i)	Вартість одиниці (C_i), USD	Одиниці виміру	Кількість (R_i) (од.)	Загальні витрати ($C_i R_i$), тис. USD
Паливо	500	Тонни пального	3200	1600
Технічне обслуговування	700	Кількість сервісних перевірок	2100	1470
Навігаційне ПЗ	1500	Ліцензії на програмне забезпечення	900	1350
Інтеграція даних портів	1800	Підключені портові вузли	800	1440
Автоматизація процесів	1200	Автоматизовані термінали	880	1056
Загальні витрати				6916

На цьому етапі оцінюється довгострокова динаміка фінансового розвитку, а також ефективність використання ресурсів у моделі 5С. Головна мета – забезпечити стабільне функціонування системи, мінімізуючи витрати та підтримуючи зростання.

Для аналізу застосовується формула (12), яка моделює зміни стану ресурсу в часі з урахуванням приросту, витрат та коефіцієнта адаптації. Таблиця 7 відображає, як фінансовий стан системи змінюється на кожному етапі через вплив приросту (G_t), витрат (C_t) та коефіцієнта адаптації (α).

Таблиця 7 – Динаміка змін стану ресурсів

Рік (t)	Початковий стан (R_t), тис. USD	Приріст (G_t), тис. USD	Витрати (C_t), тис. USD	Коеф. адаптації (α)	Оновлений стан (R_{t+1}), тис. USD
1	5000	1750	950	0,85	5680
3	5680	2300	1250	0,88	6802
5	6802	2900	1450	0,90	8117

Згідно з аналізом динаміки змін стану ресурсів, за 5 років фінансова база компанії зростає на 62%. Це демонструє стабільне зростання, що підтверджує ефективність моделі 5С. Приріст ресурсів випереджає витрати, що дозволить підтримувати фінансову стійкість у довгостроковій перспективі.

Таким чином, представлені математичні формалізації моделі 5С демонструють її універсальність і ефективність для управління проєктами, особливо в умовах динамічних змін морської галузі. Завдяки використанню формул для аналізу ризиків, оптимізації розподілу ресурсів, динамічного планування та динамічної оптимізації, модель дозволить враховувати як стратегічні, так і

оперативні аспекти проєктів. Це забезпечує збалансований підхід до досягнення цілей, мінімізацію витрат і ефективну адаптацію до змінних умов ринку, що робить модель 5С актуальним інструментом для підвищення конкурентоспроможності і стійкості проєктів.

Висновки. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої моделі 5С як комплексного інструменту для управління проєктами в морській галузі. Модель інтегрує ключові етапи управління: аналіз контексту, формування концепції, налагодження співпраці, побудову й забезпечення безперервності, що дозволить враховувати як стратегічні, так і оперативні аспекти. Було проведено

математичну формалізацію кожного етапу моделі, включаючи функції аналізу ризиків, розподілу ресурсів, динамічного планування та динамічної оптимізації, які підтверджують її універсальність і адаптивність. Особливу увагу приділено інтеграції ризико-орієнтованого підходу, забезпеченню ефективного розподілу ресурсів і врахуванню екологічних стандартів. Практичне застосування моделі дозволить підвищити конкурентоспроможність підприємств морської галузі, мінімізувати ризики та забезпечити стійкість проєктів у динамічних умовах глобального ринку. Впровадження моделі 5С надасть низку суттєвих переваг для організацій морської галузі. Системність підходу забезпечує комплексне врахування всіх аспектів діяльності та прийняття збалансованих рішень. Гнучкість моделі дозволить адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі та швидко реагувати на нові виклики. Орієнтація на сталий розвиток сприяє досягненню довгострокових цілей з урахуванням екологічної відповідальності та соціальної стійкості. Підвищення ефективності досягається через оптимізацію використання ресурсів та покращення операційних показників, що призводить до зниження витрат. Забезпечення ефективної співпраці створює синергетичний ефект та сприяє залученню всіх учасників до процесу реалізації проєкту.

Перспективи подальших досліджень у межах моделі 5С пов'язані з розширенням її практичного застосування та вдосконаленням математичних підходів для управління проєктами. Зокрема, актуальним є впровадження інструментів штучного інтелекту для автоматизації процесів аналізу ризиків, прогнозування змін ринкових умов та оптимізації розподілу ресурсів у реальному часі. Крім того, варто розглянути адаптацію моделі для багатокультурних та міжнародних проєктів, де особливу роль відіграють міжкультурна комунікація та співпраця. Подальші дослідження можуть зосередитися на інтеграції екологічних критеріїв та принципів ESG (екологічного, соціального та корпоративного управління) в усі етапи моделі. Також перспективним є застосування моделей системної динаміки для оцінки довгострокового впливу управлінських рішень на стійкість і ефективність проєктів. Загалом, подальший розвиток моделі 5С може забезпечити її адаптацію до нових викликів морської галузі та інших сфер економіки.

Список літератури

1. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V., Bushuyeva N., Tykchonovych J. Strategic project management development under influence of artificial intelligence. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. 2024. № 1(8). Р. 3–7. doi: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2024.8.1> URL: <http://pm.khpi.edu.ua/issue/view/18146>. (дата звертання: 9 січня 2025).
2. Wang J., Sii H. S., Yang J. B., Pillay A., Yu D., Liu J., Maistralis E., Saajedi A. Use of advances in technology for maritime risk assessment. *Risk Analysis*. 2004. Vol. 24(4). P. 1041–1063. doi: <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00506.x>
3. Hjellvik S., Mallam S. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2023.

- Vol. 22. P. 209–240. doi: <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00309-2>
4. Sharma A., Nazir S., Ernstsen J. Situation awareness information requirements for maritime navigation: A goal-directed task analysis. *Safety Science*. 2019. Vol. 120. P. 745–752. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.016>
5. Wang P., Mileski J. P. Strategic maritime management as a new emerging field in naval studies. *Maritime Business Review*. 2018. Vol. 3. P. 1–31. doi: <https://doi.org/10.1108/MABR-06-2018-0019>
6. Ковтун Т., Ковтун Д. Характеристика проєктів екологістичних систем. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. 2022. № 2(6). С. 45–52. doi: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2022.6.9> URL: <http://pm.khpi.edu.ua/article/view/262373>. (дата звертання: 11 січня 2025).
7. Ковтун Т. Визначення ролі екологізації в досягненні цілей сталого розвитку. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 2(71). Р. 63–81.
8. Олех Т.М., Руденко С.В., Гогунський В.Д. Оцінка ефективності екологічних проєктів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 1(10/61). С. 79–82.
9. Cariou P., Ferrari C., Parola F. Strategies in maritime and port logistics. *Maritime Economics & Logistics*. 2015. Vol. 17(1). P. 1–8.
10. Dinwoodie J., Tuck S., Knowles H., Benhin J., Sansom M. Sustainable development of port maritime operations. *Business Strategy and the Environment*. 2012. Vol. 21(2). P. 111–126.
11. Shakhov A., Kyrylova O., Sagaydak O., Pitera V., Sherstuk O. Conceptual risk-oriented model of goal setting in the implementation of concession projects in seaports. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3295. P. 149–158.
12. Parola F., Satta G., Panayides P. M. Corporate strategies and profitability of maritime logistics firms. *Maritime Economics & Logistics*. 2015. Vol. 17(1). P. 52–78.
13. Lee E. S., Song D. W. Knowledge management for maritime logistics value: discussing conceptual issues. *Maritime Policy & Management*. 2010. Vol. 37(6). P. 563–583.
14. Hollen R., Van Den Bosch F. A., Volberda H. W. The role of management innovation in enabling technological process innovation: An inter-organizational perspective. *European Management Review*. 2013. Vol. 10(1). P. 35–50.
15. Jenssen J. I., Randy T. The performance effect of innovation in shipping companies. *Maritime Policy & Management*. 2006. Vol. 33(4). P. 327–343.

References (transliterated)

1. Bushuyev S., Bushuiev D., Bushuieva V., Bushuyeva N., Tykchonovych J. Rozrobka stratehichnoho upravlinnya proiektamy pid vplyvom shchynnoho intelektu [Strategic project management development under influence of artificial intelligence]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proiektamy [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2024, № 1(8), pp. 3–7. Available at: <http://pm.khpi.edu.ua/issue/view/18146>. (accessed 9.01.2025)
2. Wang J., Sii H. S., Yang J. B., Pillay A., Yu D., Liu J., Maistralis E., Saajedi A. Use of advances in technology for maritime risk assessment. *Risk Analysis*, 2004, vol. 24(4), pp. 1041–1063.
3. Hjellvik S., Mallam S. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2023, vol. 22, pp. 209–240.
4. Sharma A., Nazir S., Ernstsen J. Situation awareness information requirements for maritime navigation: A goal directed task analysis. *Safety Science*, 2019, vol. 120, pp. 745–752.
5. Wang P., Mileski J. P. Strategic maritime management as a new emerging field in maritime studies. *Maritime Business Review*, 2018, vol. 3, pp. 1–31.
6. Kovtun T., Kovtun D. Kharakterystyka proektiv ekolohistychnykh system [Characteristics of ecologic systems projects]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proiektamy [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2022, № 2(6), pp. 45–52. Available at: <http://pm.khpi.edu.ua/article/view/262373> (accessed 11.01.2025)
7. Kovtun T. Vyznachennia roli ekolohizatsii v dosiahnenni tsilei staloho rozvytku [Determining the role of ecologization in achieving

- the goals of sustainable development]. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti* [Development of management and entrepreneurship methods on transport], 2020, № 2(71), pp. 63–81.
8. Olekh T. M., Rudenko S. V., Gogunskii V. D. Otsinka efektyvnosti ekolohichnykh proektiv [Evaluation of the effectiveness of environmental projects]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, № 1(10/61), pp. 79–82.
 9. Cariou P., Ferrari C., Parola F. Strategies in maritime and port logistics. *Maritime Economics & Logistics*, 2015, vol. 17(1), pp. 1–8.
 10. Dinwoodie J., Tuck S., Knowles H., Benhin J., Sansom M. Sustainable development of maritime operations in ports. *Business Strategy and the Environment*, 2012, vol. 21(2), pp. 111–126.
 11. Shakhov A., Kyrylova O., Sagaydak O., Pitera V., Sherstiuk O. Conceptual risk-oriented model of goal setting in the implementation of concession projects in seaports. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, vol. 3295, pp. 149–158.
 12. Parola F., Satta G., Panayides P. M. Corporate strategies and profitability of maritime logistics firms. *Maritime Economics & Logistics*, 2015, vol. 17(1), pp. 52–78.
 13. Lee E. S., Song D. W. Knowledge management for maritime logistics value: discussing conceptual issues. *Maritime Policy & Management*, 2010, vol. 37(6), pp. 563–583.
 14. Hollen R., Van Den Bosch F. A., Volberda H. W. The role of management innovation in enabling technological process innovation: An inter-organizational perspective. *European Management Review*, 2013, vol. 10(1), pp. 35–50.
 15. Jenssen J. I., Randy T. The performance effect of innovation in shipping companies. *Maritime Policy & Management*, 2006, vol. 33(4), pp. 327–343.

Надійшла (received) 19.01.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Шерстюк Ольга Ігорівна (Sherstiuk Olha Ihorivna) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри «Філологія»; e-mail: olusha972@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0482-2656>.

І. В. ШУБА, О. В. ЛОБАЧ, А. О. ЛИСЕНКО

АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ, КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОСВІТЯН

Стаття досліджує актуальність та архітектурні рішення для розробки інтегрованої інформаційної системи, орієнтованої на трансформацію освітнього простору в Україні. Сучасний ринок освітніх технологій характеризується фрагментацією, де викладачі, адміністрація закладів освіти та здобувачі змушені використовувати розрізнені платформи для професійного розвитку, кадрового менеджменту та пошуку надавачів освітніх послуг відповідно. Це призводить до неефективності, асиметрії інформації та ускладнює доступ до комплексних даних. Спроектowana інформаційна система є своєрідним цифровим хабом, що об'єднує ці функціонали. Вона дозволить викладачам створювати детальні професійні портфоліо з інформацією про кваліфікацію та досягнення, представникам адміністрації закладів освіти – ефективно знаходити та верифікувати педагогічних працівників для заповнення вакансій, а батькам та здобувачам – зручно шукати репетиторів за відгуками та описом профілів. Унікальність інформаційної системи полягає у створенні «екосистеми довіри», де офіційні дані про кваліфікацію викладачів поєднуються з реальними відгуками користувачів, підвищуючи прозорість та надійність вибору. Система також сприятиме персоналізованому професійному розвитку освітян, пропонуючи релевантні курси на основі аналізу їхніх потреб. Прискорення діджиталізації та стрімке зростання попиту на репетиторські послуги в Україні роблять розробку інформаційної системи EduConnect.UA актуальною та стратегічно важливою для оптимізації освітніх процесів і підвищення якості освіти.

Ключові слова: Інформаційна система, Освіта, Професійний розвиток, Портфоліо викладача, HR-менеджмент, Цифрова трансформація, Рекомендаційні системи, Конкурентний аналіз, SWOT-аналіз.

I. SHUBA, O. LOBACH, A. LYSENKO

ANALYSIS OF RELEVANCE, COMPETITIVE ENVIRONMENT AND ARCHITECTURAL SOLUTIONS FOR AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR EDUCATORS

The article explores the relevance and architectural solutions for the development of an integrated information system focused on transforming the educational space in Ukraine. The modern educational technology market is characterized by fragmentation, where teachers, educational administrators, and students are forced to use disparate platforms for professional development, human resource management, and searching for educational service providers, respectively. This leads to inefficiency, information asymmetry, and complicates access to comprehensive data. The designed information system is a kind of digital hub that combines these functionalities. It will allow teachers to create detailed professional portfolios with information about their qualifications and achievements, representatives of educational institutions to effectively find and verify teaching staff to fill vacancies, and parents and applicants to conveniently search for tutors based on reviews and profile descriptions. The uniqueness of the information system lies in the creation of an “ecosystem of trust,” where official data on teacher qualifications is combined with real user reviews, increasing the transparency and reliability of the selection process. The system will also promote personalized professional development for educators by offering relevant courses based on an analysis of their needs. The acceleration of digitalization and the rapid growth in demand for tutoring services in Ukraine make the development of the EduConnect.UA information system relevant and strategically important for optimizing educational processes and improving the quality of education.

Keywords: Information system, Education, Professional development, Teacher portfolio, HR management, Digital transformation, Recommendation systems, Competitive analysis, SWOT analysis.

Вступ. Сучасна освітня екосистема як в Україні, так і в світі, стоїть перед значними викликами, що вимагають ефективної цифрової трансформації, постійного підвищення кваліфікації педагогічних кадрів та оптимізації процесів пошуку освітніх послуг. Існуючі цифрові рішення часто є фрагментованими, орієнтованими на окремі, вузькі аспекти освітньої діяльності. Наприклад, одні платформи зосереджені на наданні освітніх послуг у форматі онлайн-курсів, інші – на пошуку репетиторів, а треті – на управлінні навчальними матеріалами та відеоуроками. В умовах геополітичної кризи, обумовленої повномасштабним вторгненням РФ, яке спричинило масовий виїзд українців, зокрема освітян, пошук викладачів для закладів освіти стає викликом. Така розрізненість створює значні розриви у взаємодії між ключовими учасниками освітнього процесу: викладачами, адміністрацією закладів освіти, батьками та здобувачами. Кожен з них змушений використовувати кілька різних ресурсів для задоволення своїх потреб, що призводить до неефективності, втрати часу та ускладнення доступу до повної інформації.

Таким чином, об'єднання функціональних можливостей створення професійних профілів для викладачів, HR-менеджменту для адміністраторів та пошуку репетиторів для зацікавлених осіб створює унікальну пропозицію цінності. Існуючі платформи, такі як Google Classroom, Zoom, Preply, BUKI, Prometheus, EdEra, На Урок, Coursera, Udacity, ClassDojo, різні соціальні мережі, зазвичай спеціалізуються на одному або двох із цих аспектів. Жодна з них не інтегрує всі три заявлені функціонали в єдину систему. Ця інтеграція не просто додає можливості, а генерує синергетичний ефект. Користувачам не потрібно буде перемикатися між різними платформами, що значно підвищить зручність. Крім того, така централізація може створити потужний мережевий ефект: викладачі, які бачитимуть користь як для свого професійного портфоліо, так і для пошуку учнів, будуть більш схильні реєструватися. Адміністратори, у свою чергу, отримають ефективний інструмент для управління кадрами та пошуку спеціалістів. Збільшення бази викладачів та якості їхніх профілів, що є наслідком такого підходу, неминуче привабить більше батьків та здобувачів освіти, які шукатимуть репетиторів.

Актуальність роботи. Глобальний ринок освітніх технологій (EdTech) демонструє стрімке зростання, що підкреслює актуальність цифрових рішень в освіті. Згідно звіту [1], оприлюдненого GVR, розмір світового ринку освітніх технологій у 2024 році оцінювався в 163,49 млрд. доларів США, та за прогнозами, досягне 348,41 млрд доларів США до 2030 року, зростаючи зі середньорічним темпом зростання 13,3% з 2025 по 2030 рік, що значною мірою зумовлене загальною діджиталізацією освітнього сектору, який поступово переходить від переважно аналогової до цифрової основи. Змінюються і споживчі очікування, так наприклад, користувачі все більше цінують мобільність, персоналізацію, соціальні аспекти та гейміфіковане навчання. Інвестиції в EdTech стартапи також зростають, про що свідчить понад 13 тисяч інвесторів та 22 тисячі закритих раундів фінансування в галузі. Застосування передових технологій, таких як доповнена/віртуальна реальність та штучний інтелект, стає все більш інтегрованим у процеси навчання та викладання, що підкреслює технологічну спрямованість розвитку галузі.

В Україні ринок онлайн-освіти хоча й перебуває на стадії формування, демонструє активне зростання. Попит на послуги репетиторів в Україні і в світі зростає щорічно в середньому на 15%. За прогнозами IMARC Group до 2033 року ринок досягне 238,5 мільярда доларів США, демонструючи середньорічний темп зростання 7,49% протягом 2025 – 2033 років. Зростаюча конкуренція, з якою стикаються студенти, відсутність належної освітньої інфраструктури та інноваційні технологічні досягнення в галузі є одними з ключових факторів, що сприяють зростанню частки ринку приватного репетиторства [2]. В Україні діджиталізація освіти є пріоритетом на державному рівні, про що свідчить тестування застосунку «Мрія» у школах України у 2024 році [3]. Також спостерігається унікальна адаптація до поточних реалій, інтегруючись з Military Tech для розробки інноваційних навчальних інструментів для військових, наприклад, програм для пілотів дронів у віртуальній реальності. Гейміфікація освіти є ще одним зростаючим трендом з прогнозом ринку гейміфікованої освіти до 4,1 мільярда доларів США до 2027 року [3].

Повномасштабна війна в Україні формує унікальні вимоги до EdTech рішень та освітнього середовища в цілому, вона прискорила цифрову трансформацію, зробивши гнучкі, доступні та безпечні онлайн-рішення для освіти. Інформаційна система EduConnect.UA може стати інструментом для підтримки безперервності освітнього процесу та професійного розвитку в умовах кризи, а також сприятиме формуванню стійкої та адаптивної освітньої екосистеми в Україні. Вона може бути позиціонована як рішення, що відповідає на виклики в освіті, допомагаючи формувати якісні освітні послуги та забезпечувати комунікацію між усіма учасниками освітнього процесу, підтримуючи професійний розвиток освітян в умовах стресу та постійних змін.

Однією з переваг впровадження інформаційних технологій в освіту, окрім автоматизації процесу

навчання, систематизації навчальних матеріалів, підвищення рівня знань здобувачів та якості викладання на всіх рівнях освіти [4-6], є те, що вони значно спрощують комунікацію між усіма учасниками освітнього процесу – викладачами, учнями, батьками – та дозволяють створювати безпечне та зручне середовище для навчання. Це сприяє продуктивному використанню веб-можливостей та оперативному обміну інформацією.

Однак, незважаючи на очевидні переваги, існують значні виклики на шляху цифровізації освітнього середовища. Серед них – обмежене фінансування освітніх закладів, застаріла мережева інфраструктура, що перешкоджає ефективному впровадженню технологій, а також опір змінам з боку частини педагогічного та адміністративного персоналу. Відсутність чіткої стратегії інтеграції технологій, що призводить до їхнього неповного використання. Проблемою є також ненадійність пристроїв та програмного забезпечення, недостатня обізнаність освітян щодо потенціалу EdTech, нерівний доступ до технологій (цифровий розрив), а також питання забезпечення цифрової доступності та конфіденційності даних. Поряд із високим попитом на он-лайн курси дослідники спостерігають низький рівень успішного завершення онлайн-курсів, наприклад, близько 14% на платформах, таких як Prometheus, що може бути пов'язано з низьким рівнем самодисципліни та мотивації здобувачів.

Постановка задачі. Розробка інтегрованої інформаційної системи для учасників освітнього процесу має на меті створення єдиного централізованого цифрового середовища, що охоплюватиме весь спектр їх адміністративних, навчальних та комунікаційних потреб. Існуючі рішення часто фрагментовані, що призводить до дублювання даних, неефективності робочих процесів та ускладнення доступу до актуальної інформації. Завдання полягає у проектуванні та впровадженні інформаційної системи, яка забезпечить безперебійний обмін даними між різними функціональними модулями інформаційної системи, такими як «Управління користувачами», «HR/портфоліо», «Пошук/підбір», «Комунікація», «Аналітика», матиме уніфікований інтерфейс користувача та надаватиме аналітичні інструменти для прийняття обґрунтованих рішень. Таким чином, це забезпечить кінцеву мету – підвищення ефективності управління, покращення якості освітніх послуг та оптимізацію взаємодії всіх учасників освітнього процесу в умовах сучасної цифрової трансформації.

Методи та інструменти дослідження. Для успішної реалізації поставленої задачі було застосовано комплексні методи та інструменти досліджень. На етапі аналізу вимог використовувався системний аналіз та методи опитування зацікавлених сторін (викладачів, адміністрації, студентів, батьків) для виявлення їхніх потреб та очікувань, анкетування, SWOT-аналіз тощо. Проектування системи базувалося

на об'єктно-орієнтованому підході з використанням UML-діаграм для візуалізації архітектури та взаємодії компонентів. Розробка програмного забезпечення передбачала застосування гнучких методологій управління, таких як Scrum, що забезпечить ітеративний розвиток, адаптивність до змін та регулярне отримання зворотного зв'язку. Для реалізації фронкенду були використані сучасні JavaScript-фреймворки, для беккенду – Node.js, що дозволить створити масштабовану та високопродуктивну архітектуру. Управління даними здійснюватиметься за допомогою реляційних баз даних MySQL.

Основна частина. Загальна ідея полягає у розробці інтегрованої інформаційної системи, яка слугуватиме централізованим своєрідним хабом для професійного розвитку викладачів, ефективного управління кадровим потенціалом для адміністраторів та зручного пошуку репетиторів для здобувачів освіти та їхніх батьків. Під поняттям «інтегрована» в контексті розробки даної інформаційної системи для учасників освітнього процесу розуміється система, яка об'єднує різні функціональні модулі та компоненти в єдину, злагоджену структуру. До ключових аспектів якої можна віднести:

1) єдина база даних, оскільки усі модулі системи використовують одну централізовану базу даних, що усуває дублювання інформації, забезпечує її актуальність та цілісність;

2) взаємодія та обмін даними між різними функціональними блоками системи відбувається безперешкодно, що дозволяє автоматизувати багато процесів, які раніше вимагали ручного перенесення даних або використання кількох програм;

3) уніфікований інтерфейс користувача єдиного середовища незалежно від того, який саме функціонал вони використовують, що значно спрощує користування та підвищує ефективність роботи;

4) централізоване управління, оскільки адміністрування та налаштування системи здійснюється з однієї точки, що спрощує підтримку, оновлення та забезпечення безпеки;

5) комплексне рішення для різних завдань, оскільки інтегрована інформаційна система охоплює широкий спектр потреб всіх учасників освітнього процесу.

Така інформаційна система дозволить створити єдиний цифровий простір, що сприятиме підвищенню якості освіти, оптимізації відповідних процесів та формуванню цілісної освітньої спільноти. Тому пропонується інформаційна система базується на чіткій рольовій моделі доступу, що забезпечить персоналізований досвід для кожного користувача та належний рівень захисту інформації. При реєстрації кожен користувач обирає свою роль, яка визначатиме доступний набір функціональних можливостей та рівень доступу до даних. Це дозволить оптимізувати інтерфейс та забезпечити релевантність інформації для кожної категорії користувачів.

Для обґрунтування доцільності розробки інтегрованої інформаційної системи EduConnect.UA

було проведено порівняльний аналіз існуючих онлайн-платформ, які частково реалізують схожі функції (див. табл. 1). У центрі дослідження – ресурси, що пропонують сервіси створення портфоліо, підбору репетиторів, розміщення вакансій, онлайн-курсів, а також HR-рішення для освітнього сектору. Аналіз враховує такі критерії, як основне призначення, цільова аудиторія, функціональні переваги й обмеження, а також ключові відмінності від концептуальної моделі EduConnect.UA.

Результати порівняльного аналізу демонструють, що жоден із наявних ресурсів не охоплює комплексно потреби всіх цільових груп – викладачів, адміністрацій закладів освіти та здобувачів. Це підтверджує доцільність розробки інтегрованої інформаційної системи EduConnect.UA, яка об'єднує функціональність портфоліо, рекрутингу, рекомендацій і професійного розвитку в межах однієї платформи.

Основні ролі в інформаційній системі EduConnect.U включують:

1) Викладач (освітянин) – роль охоплює широкий спектр педагогічних працівників, включаючи вчителів шкіл, викладачів коледжів, викладачів закладів вищої освіти (ЗВО) та індивідуальних репетиторів;

2) Адміністрація ЗО (представник закладу освіти) – це можуть бути керівники закладів освіти, такі як директори шкіл, завучі, керівники коледжів та ЗВО, а також співробітники HR-відділів, які відповідальні за якісне кадрове забезпечення освітнього процесу;

3) Здобувач освіти / Батьки – дана роль призначена для учнів, студентів, їхніх батьків, або будь-яких інших осіб, що шукають додаткові освітні послуги чи інформацію про викладачів;

4) Адміністратор інформаційної системи EduConnect.UA – це представник, який відповідає за налаштування, підтримку, моніторинг і розвиток платформи на рівні IT-інфраструктури, забезпечуючи її стійкість, безпеку та продуктивність.

Детальний опис функціоналу для кожної ролі наведено нижче.

1. Викладачі матимуть можливість створити та ефективно управляти своїм професійним кабінетом, який функціонуватиме як повноцінне електронне портфоліо у разі коректного оформлення детальної інформації про власні досягнення, кваліфікацію, досвід роботи, методичні розробки, наукові публікації та сертифікати про підвищення кваліфікації тощо. В такому випадку створюється структурований програмно-методичний комплекс матеріалів, створений з використанням комп'ютерних технологій на основі результатів педагогічних досягнень освітянина тощо [8]. Портфоліо може включати мультимедійні елементи, такі як фотографії та відео, що робить його більш наочним та привабливим. Електронне портфоліо є важливим інструментом систематизації професійного зростання педагога, оскільки дозволяє акумулювати інформацію про освіту, кваліфікації, досягнення та освітню активність в уніфікованій формі. Інформаційна система EduConnect.UA інтегрує функціонал електронного

портфоліо як структурованого модуля, що забезпечує централізоване зберігання, динамічне оновлення та подальшу взаємодію з іншими компонентами системи. Це вигідно вирізняє її серед розрізнених рішень, які наразі використовуються для створення або розміщення портфоліо, таких як Google Сайти, CV

Wizard [9], Mahara [10], Portfolium [11], сайти освітніх закладів, соціальні мережі та платформи пошуку роботи, які, як правило, не забезпечують цілісної інтеграції з освітнім процесом та інституційною аналітикою.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика існуючих ресурсів та інформаційної системи EduConnect.UA

№	Сервіс	Основна функція	Цільова аудиторія	Позитивні сторони	Негативні сторони	Ключова відмінність з EduConnect.UA
1	CV Wizard	Онлайн-конструктор резюме	Шукачі роботи, фрилансери	Простий інтерфейс для створення резюме, швидка публікація	Обмежена гнучкість структури портфоліо, слабка аналітика	Не підтримує освітній контекст, відсутня інтеграція з курсами чи відгуками
2	Mahara	Електронне портфоліо з LMS-інтеграцією	Студенти, заклади освіти	Потужна платформа для електронних портфоліо, підтримує стандарти Moodle	Складний інтерфейс для новачків, потребує налаштування серверного оточення	Вимагає складної технічної інтеграції, не персоналізує пропозиції курсів
3	Portfolium	Онлайн-портфоліо для студентів	Студенти, молоді фахівці	Інтеграція з LinkedIn, сучасний дизайн, зручність для студентів	Залежність від англomовного контенту, не адаптований до української системи	Фокусується лише на візуалізації досягнень, без HR-складової
4	Coursera	Онлайн-курси та сертифікація	Універсальна аудиторія, lifelong learners	Висока якість курсів, міжнародні сертифікати, адаптивне навчання	Платний доступ до сертифікатів, більшість курсів не враховують локальні потреби	Не враховує специфіку освітніх потреб викладачів, відсутня взаємодія з закладами
5	Prometheus	Національна освітня платформа	Українські студенти та викладачі	Безкоштовні курси українською мовою, адаптовані до вітчизняної освіти	Мала кількість спеціалізованих курсів для педагогів, відсутність персоналізації	Не включає портфоліо, рейтинги викладачів, автоматизоване формування резюме
6	BUKI	Платформа для пошуку репетиторів	Батьки, студенти, учні	Можливість знайти репетитора за предметом, ціною, рейтингом	Обмежений набір інструментів для взаємодії, відсутність вбудованої аналітики	Не підтримує створення портфоліо чи аналітику педагогічної діяльності
7	Kabanchik	Маркетплейс послуг, зокрема	Громадяни, які шукають виконавців	Пошук виконавців для освітніх/побутових послуг, зручна система замовлень	Не передбачає навчального функціоналу, ризик низької якості виконавців	Не орієнтована на педагогів, відсутній контроль якості освітніх послуг
8	Paycor	HRM-система для бізнесу	HR-відділи компаній	Широкий HR-функціонал, зручна аналітика, автоматизація кадрів	Висока вартість, фокус на корпоративному секторі, складне налаштування	Складна адаптація до потреб освіти, високі витрати на впровадження
9	Lanteria	Корпоративна HRM-система з Office365	HR-департаменти великих організацій	Повна інтеграція з Office 365, підтримка управління талантами	Вимагає тривалого впровадження, складна адаптація для закладів освіти	Недостатня персоналізація освітнього досвіду, складне налаштування для освітян

Викладачі, які надають репетиторські послуги, можуть детально описувати свої пропозиції, включаючи предмети, рівні підготовки, ціни та доступність для онлайн/офлайн занять. Система відгуків та рейтингів дозволить здобувачам освіти та їхнім батькам залишати відгуки, а представникам адміністрації закладів освіти – оцінювати професійну

діяльність викладачів для формування об'єктивного рейтингу.

Крім того, інформаційна система надає широкі можливості для професійного розвитку. Викладачі мають доступ до інформації про актуальні курси підвищення кваліфікації, вебінари та конференції, а також можливості для обміну досвідом з колегами.

Наразі повідомлення про програми підвищення кваліфікації реалізовані у вигляді звичайних рекламних оголошень від українських платформ, таких як Prometheus, EdEra, Google for Education, На Урок, Піфагор, та міжнародних Coursera, Khan Academy, Udacity, Udemu тощо. Однак у перспективі планується інтеграція алгоритмів штучного інтелекту, зокрема рекомендаційних систем, що дозволить формувати для освітян персоналізовані пропозиції курсів з урахуванням їхньої спеціалізації, професійних компетенцій та індивідуальних уподобань.

2. Адміністрації закладів освіти у разі потреби матимуть інструмент для пошуку та перегляду карток працівників, що дозволить ефективно знаходити викладачів за різними критеріями, такими як предмет, кваліфікація, досвід роботи та досягнення, можливість працювати в онлай чи офлайн форматі, повна чи часткова зайнятість. Що є критично важливим для заповнення вакансій та формування ефективних педагогічних команд. Сучасні HR-системи для освіти, такі як Paucor [14] та Lanteria [15], вже пропонують функціонал для рекрутингу, управління персоналом, відстеження кваліфікацій та сертифікатів. Проте Paucor часто критикують за високі ліцензійні витрати й обмежену гнучкість налаштувань під специфіку навчальних закладів, а Lanteria – за складність впровадження, повільну технічну підтримку та недостатню інтеграцію з існуючими освітніми платформами й аналітичними інструментами. Інформаційна система EduConnect.UA дозволить управляти кадровим резервом, ідентифікуючи потенційних кандидатів для майбутніх потреб. Функціонал верифікації кваліфікації та досягнень надасть можливість перевіряти інформацію, надану викладачами, забезпечуючи її достовірність. Крім того, адміністрація закладу освіти зможе формувати детальні звіти щодо кадрового складу, кваліфікації персоналу та потреб у підвищенні кваліфікації.

3. Здобувачі освіти та їх батьки мають можливість отримати зручний та інтуїтивно зрозумілий інструмент для пошуку репетитора та/або закладу освіти. Пошук може здійснюватися за різними критеріями: предмет, рівень підготовки, відгуки, опис інформації, ціна та місце або формат (онлайн/офлайн) проведення занять. Існують численні платформи для пошуку репетиторів в Україні та світі, такі як BUKI, Preply, Enguide.ua, Mathema, Kabanchik, Superprof, Promova та GOAL. Інформаційна система EduConnect.UA пропонує покращений механізм пошуку та рекомендацій, інтегруючи їх у єдиний простір.

Користувачі зможуть переглядати детальні профілі репетиторів, отримуючи доступ до інформації про їхню кваліфікацію, досвід, досягнення та відгуки інших користувачів. Можливість залишати відгуки та виставляти оцінки репетиторам сприятиме формуванню прозорого рейтингу. Інформаційна система також надасть інструменти для комунікації зі знайденими репетиторами, наприклад, внутрішній чат, що спростить організацію занять.

4. Адміністратор інформаційної системи EduConnect.UA відповідає за формування централізованої моделі доступу: створення та видалення облікових записів операторів (служба підтримки, модератори, служба безпеки), а також призначення і тонке налаштування ролей і прав доступу до кожного з модулів платформи. Крім того, він здійснює базову конфігурацію середовищ розробки, тестування та продакшена, оптимізуючи параметри веб-серверів і баз даних для забезпечення стабільної роботи під різними навантаженнями. У межах моніторингу адміністратор інтегрує системи логування й збору метрик (CPU, пам'ять, час відгуку), налаштовує дашборди у Grafana і відкриває прозорий доступ до показників продуктивності в реальному часі.

Забезпечення безпеки та відмовостійкості – ще одна ключова зона відповідальності. Адміністратор управляє установкою й оновленням SSL/TLS-сертифікатів, налаштовує шифрування даних «at-rest» у базах даних, впроваджує двофакторну автентифікацію для внутрішніх користувачів. Паралельно він розробляє політики резервного копіювання (визначає частоту, строки зберігання і методи шифрування), регулярно тестує процедури відновлення після збою та гарантує, що RTO/RPO відповідають затвердженню SLA.

В операційній підтримці адміністратор інформаційної системи відповідає за побудову й супровід CI/CD-конвеєра (Jenkins, GitLab CI, GitHub Actions), контроль міграцій схеми баз даних, діагностику й швидке усунення інцидентів у співпраці з DevOps та командами розробників. Він оптимізує продуктивність за допомогою кешування, балансує навантаження на рівні NGINX чи HAProxy та підключає зовнішні сервіси (SMTP/SMS-шлюзи для сповіщень, платіжні провайдери). Окремо адміністратор веде технічну документацію (архітектурні діаграми, Runbooks), публікує й версіонує REST/GraphQL API з механізмами rate limiting і DDoS-захисту, а також готує регулярні звіти про виконання SLA та стан інфраструктури.

Таким чином, об'єднання професійних портфоліо викладачів (доступних для адміністраторів) з відгуками про репетиторські послуги (здобувачів та їх для батьків) створює унікальну можливість для перехресної верифікації та підвищення довіри до системи. Адміністрація ZO зможуть бачити не лише офіційні досягнення викладачів, а й «реальні» відгуки про їхню викладацьку діяльність, що є важливим для оцінки педагогічної майстерності. Можливість здобувачів та батьків переглядати не лише відгуки, а й офіційні дані про кваліфікацію викладача підвищує об'єктивність їх вибору. Ця інтеграція обумовлює більш надійну та прозору «екосистему довіри», де репутація викладача формується як на основі академічних досягнень, так і на основі практичного досвіду та зворотного зв'язку від учнів. В подальшому така система може стати стандартом для верифікації професіоналізму в освітній сфері, зменшуючи ризики для всіх сторін. Вона також може стимулювати викладачів до постійного професійного розвитку та

високої якості роботи, оскільки їхній «цифровий слід» буде більш повним та прозорим.

Збір даних про кваліфікацію, досягнення та відгуки викладачів дозволить інформаційній системі не просто відображати інформацію, а й аналізувати її для подальшого використання, наприклад, для розробки персоналізованих рекомендацій щодо подальшого професійного розвитку. Якщо викладач отримує багато запитів на певний предмет, але має застарілі сертифікати, інформаційна система може запропонувати відповідні курси підвищення кваліфікації, що в свою чергу перетворює систему з пасивного сховища даних на активного «кар'єрного радника» для освітян. Поєднавши xAPI/LRS для збору даних, DW/ETL-шари для обробки, BI-інструменти для візуалізації та ML-бібліотеки для рекомендацій, ви отримаєте гнучку, масштабовану та автономну систему «кар'єрного радника», яка надаватиме персоналізовані поради викладачам і допоможе закладам планувати програми підвищення кваліфікації з урахуванням реальних потреб. Такий підхід також може допомогти закладам освіти ефективніше планувати програми підвищення кваліфікації для своїх співробітників,

виходячи з реальних потреб ринку та індивідуальних прогалин у кваліфікації, що відповідає сучасним тенденціям у HR-менеджменті та персоналізованому навчанні.

Для визначення унікальності та конкурентних переваг пропонованої інформаційної системи було проведено порівняльний аналіз існуючих освітніх платформ та сервісів як українських, так і міжнародних. Аналіз виявив, що більшість існуючих рішень зосереджуються на одному або двох аспектах освітньої взаємодії, залишаючи прогалину для інтегрованої платформи, що охоплює професійний розвиток викладачів, HR-менеджмент та пошук репетиторів. Результати порівняльного аналізу деяких сервісів наведено в таблиці 1, яка дозволяє визначити, чим пропонована система EduConnect.UA принципово відрізняється від існуючих продуктів.

Для всебічної оцінки потенціалу пропонованої інтегрованої інформаційної системи проведено SWOT-аналіз, який дозволяє виявити її сильні та слабкі сторони, а також зовнішні можливості та загрози. Результати дослідження наведено на рисунку 1.



Рис. 1. SWOT-аналіз для інформаційної системи EduConnect.UA

Проведений SWOT-аналіз показав сильні та слабкі сторони інформаційної системи, загрози та можливості її розробки та впровадження. Розробка інформаційної системи EduConnect.UA потребує стратегічно обґрунтованого підходу, який враховує не лише її функціональну концепцію, а й архітектурні, безпекові, нормативні та поведінкові аспекти. Доцільно застосовувати модульну та мікросервісну архітектуру, яка дозволяє масштабувати окремі функціональні блоки (профіль, вакансії, аналітика тощо) незалежно один від одного. Чітке розмежування ролей користувачів на рівні бази даних і бізнес-логіки

забезпечить гнучке управління правами доступу. Особлива увага в майбутньому має бути приділена зручності інтерфейсу адаптивній верстці для мобільних пристроїв, інтуїтивній навігації та інтерактивному онбордингу.

Для забезпечення структурованого представлення компонентів інформаційної системи EduConnect.UA побудовано діаграму класів (рис.2), яка відображає основні сутності системи, їх атрибути, методи та взаємозв'язки. Архітектура системи базується на принципах об'єктно-орієнтованого підходу та дозволяє моделювати взаємодію між викладачами,

адміністрацією закладів освіти, здобувачами освіти та їх батьками. Особливу увагу приділено реалізації функціональності електронного портфоліо, репетиторських послуг, відгуків та управління

вакансіями, що є ключовими для ефективної підтримки професійного розвитку педагогів та прозорого пошуку освітніх кадрів.

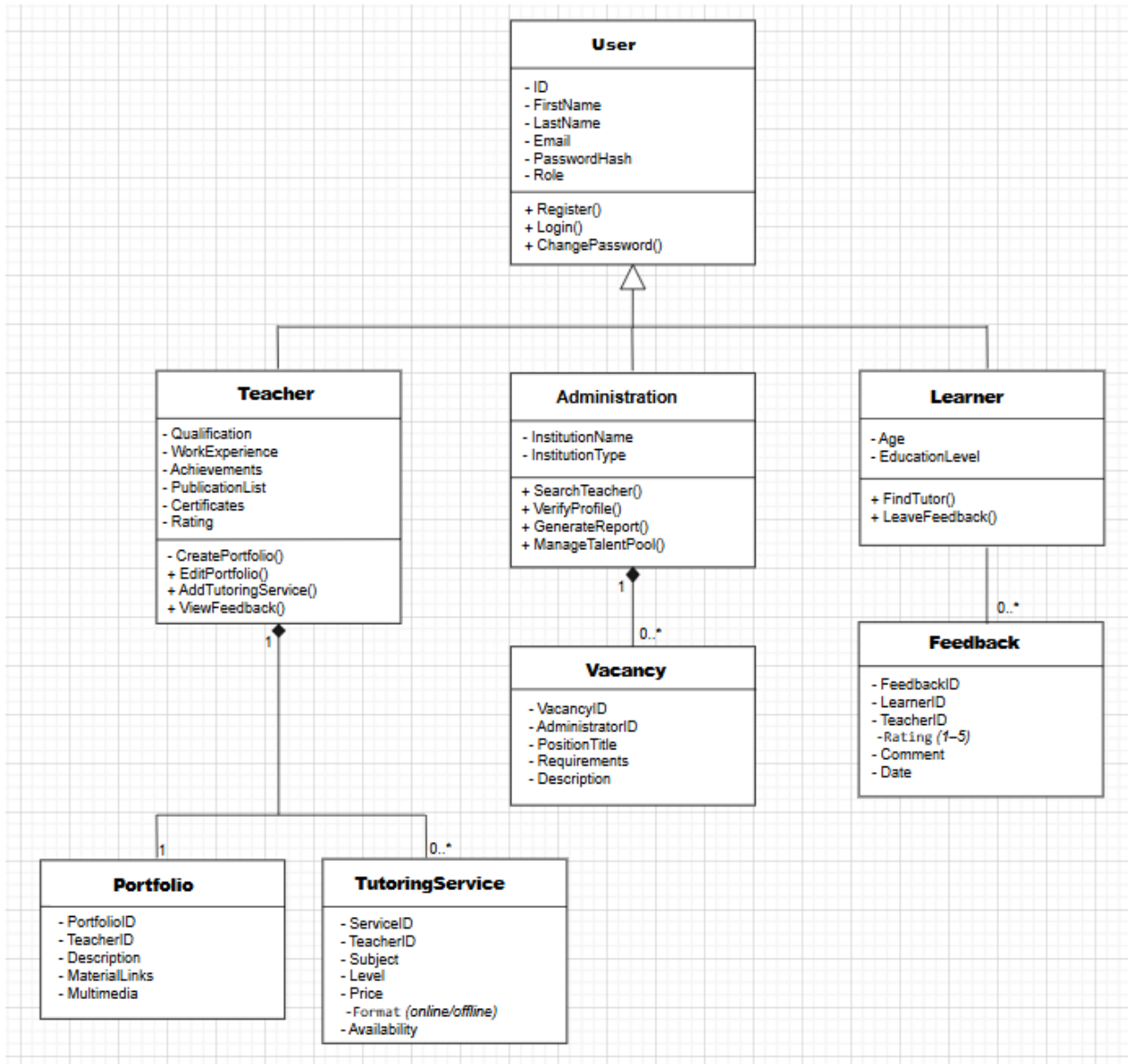


Рис. 2. Діаграма класів інформаційної системи EduConnect.UA

Візуалізована модель класів дозволяє чітко окреслити логічну структуру системи та взаємозалежності між її основними компонентами. Зокрема, клас Administration асоціюється з множиною вакансій (0..*), що надає можливість гнучкого управління кадровими оголошеннями – від повної відсутності активних вакансій до масштабного їх розміщення. Аналогічно Teacher взаємодіє з такими сутностями, як Portfolio, TutoringService, що підтримує персоналізований профіль викладача у цифровому просторі. Побудована діаграма не лише фіксує поточні функціональні вимоги до системи, а й слугує основою для подальшого технічного проєктування, реалізації та масштабування модулів. Така модель сприяє забезпеченню цілісності даних, формалізації взаємодії

між ролями користувачів і надає чітке уявлення про структуру майбутньої інформаційної платформи.

Для ілюстрації логіки взаємодії користувача з інтегрованою інформаційною системою EduConnect.UA було обрано модуль «Викладач» як один із найбільш функціонально насичених та критично важливих для ефективного функціонування платформи та представлено на рисунку. Саме через цей модуль реалізується персоналізована взаємодія з системою: створення електронного портфоліо, доступ до вакансій, комунікація з адміністрацією та здобувачами освіти, генерація резюме, а також управління послугами репетиторства, як представлено на рисунку 3. Вибір модуля зумовлений потребою забезпечення гнучкої професійної траєкторії педагога в цифровому середовищі.

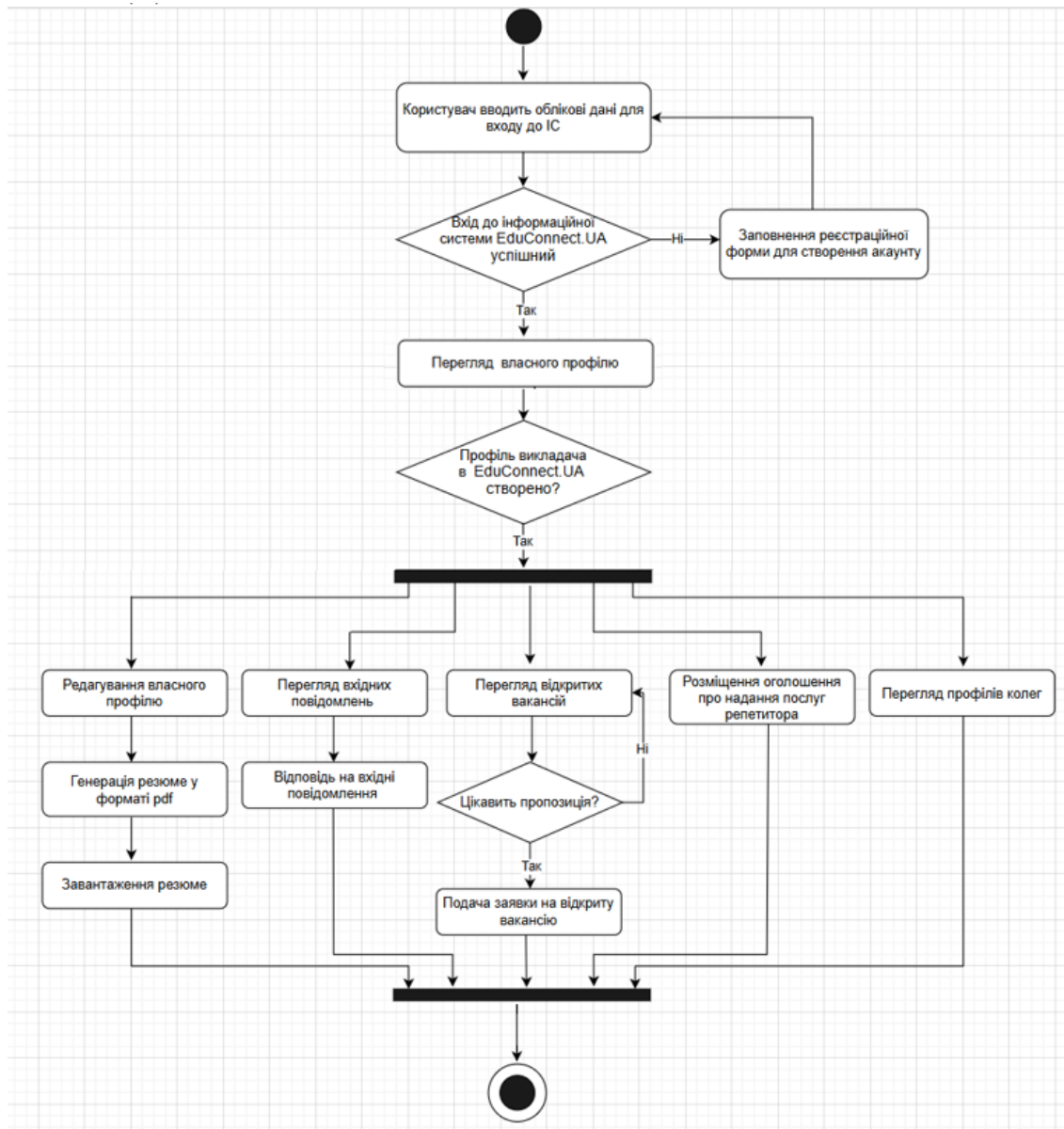


Рис. 3. Діаграма активності для модуля «Викладач»

Представлена діаграма діяльності модуля «Викладач» демонструє послідовність дій користувача після входу до системи та чітко розмежовує паралельні та умовні сценарії. Важливою особливістю є реалізація вилки та об'єднання потоків (fork & join), що відображає можливість незалежного виконання таких дій як перегляд вакансій, редагування профілю, перевірка повідомлень або розміщення послуг репетиторства. Це відповідає сучасним принципам UX-дизайну освітніх платформ. Крім того, на діаграмі реалізовано перевірку наявності викладацького профілю, а також умовне розгалуження у випадку подання заявки на вакансію, що забезпечує логічну завершеність кожного з процесів. Такий підхід дає змогу наочно представити життєвий цикл взаємодії викладача з платформою, а також служить цінною основою для технічної реалізації та тестування системи.

Інформаційна система EduConnect.UA в майбутньому включатиме інтелектуальний блок рекомендацій для персоналізованого добору репетиторів. Такі системи допомагають користувачам долати проблему інформаційного перевантаження, надаючи спеціалізовані поради та вказівки. Основні етапи:

1) система збирає дані про вподобання здобувачів (наприклад, предмети, які вони шукали, профілі, які переглядали, репетиторів, з якими працювали, їхні відгуки), а також про характеристики викладачів (кваліфікація, досвід, спеціалізація, відгуки);

2) обирається підхід, наприклад, колаборативна фільтрація, коли платформа рекомендує репетиторів на основі вподобань інших користувачів зі схожою поведінкою або інтересами;

3) для підвищення точності та персоналізації рекомендацій можуть бути використані алгоритми машинного навчання, зокрема глибоке навчання (Deep

Learning), які здатні аналізувати складні патерни у даних користувачів та репетиторів;

4) оновлення рекомендацій на основі нової інформації, такої як нові відгуки, зміни в профілях викладачів або зміни вподобань користувачів.

Головна сторінка інформаційної системи EduConnect.UA, яку представлено на рисунку 4, реалізована у вигляді адаптивного вебінтерфейсу з розмежуванням функціональних блоків відповідно до цільових груп користувачів: освітяни, адміністрація закладів освіти та здобувачі освіти/батьки. У верхній частині сторінки розташоване горизонтальне меню навігації, що включає посилання на основні розділи: «Про нас», «Освітянам», «Адміністрації ЗО», «Здобувачам освіти», а також доступ до профілю користувача та функцію виходу з системи.

Інформаційні блоки з лівого боку подано у вигляді карток з коротким описом можливостей для кожної групи. Для освітян передбачено створення профілю, розширення професійної мережі та доступ до можливостей для розвитку. Адміністрації закладів освіти надається можливість публікувати вакансії, переглядати резюме та поширювати інформацію про події. Здобувачі освіти можуть знайти навчальні заклади, обрати репетитора та ознайомитись з відгуками.

З правого боку сторінки зарезервовано місце для рекламних блоків або інформаційних повідомлень про курси підвищення кваліфікації та різні заходи, такі як вебінари, майстер-класи тощо. Такий підхід дозволяє не перевантажувати інтерфейс зайвими елементами та зберігати візуальну рівновагу.

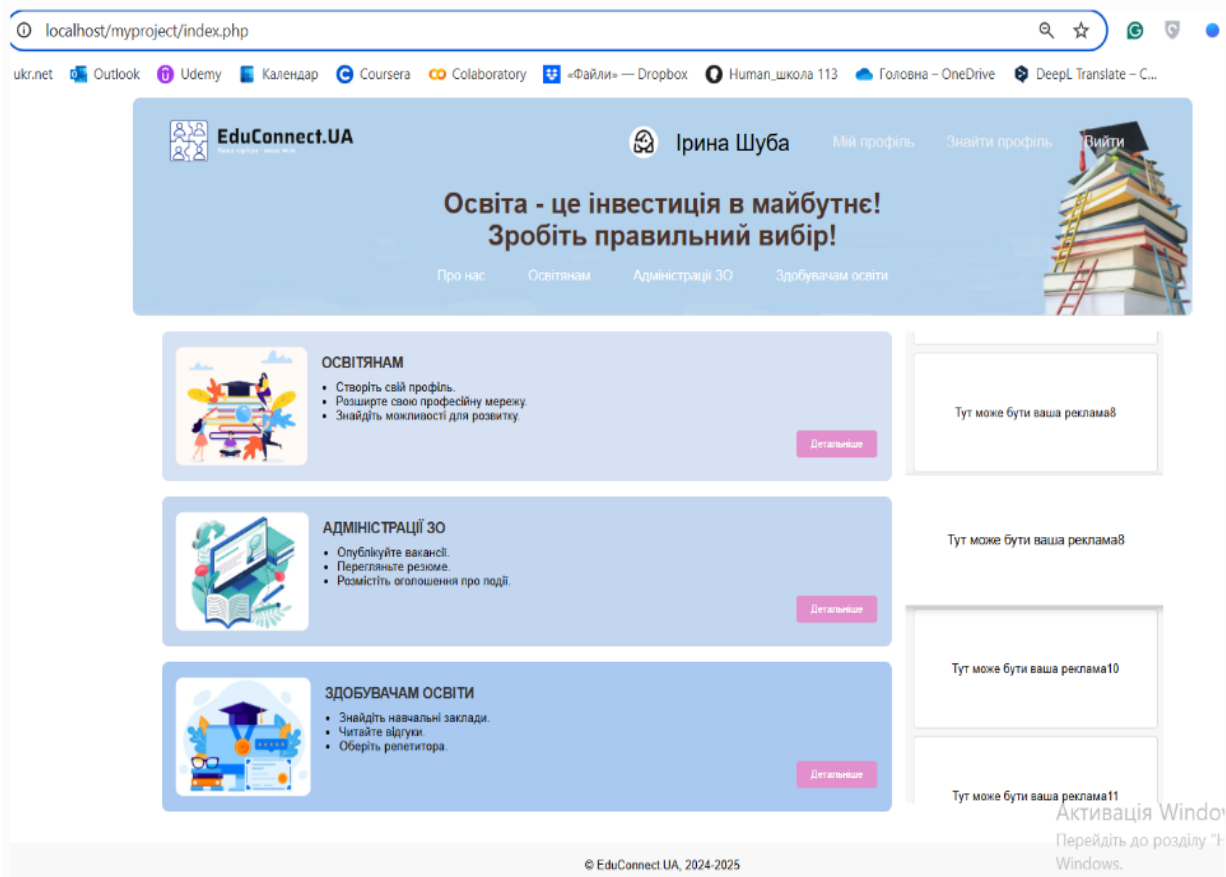


Рис. 4. Скрін головної сторінки авторизованого користувача

Сторінка профілю викладача (рис. 5) містить повну структуровану інформацію про користувача, яка може використовуватись для професійної взаємодії або оцінки його кваліфікацій. У верхній частині сторінки зазначено ім'я викладача, вік, педагогічний стаж, а також розміщене фото користувача. Основна текстова частина поділена на блоки: місце роботи, освіта, науковий ступінь, підвищення кваліфікації, володіння іноземними мовами, сфера професійних інтересів, життєве кредо. У подальшому також планується передбачити блок для відображення інформації про участь викладача у професійних і наукових проектах, що відповідає міжнародній практиці закордонних університетів.

Ліворуч реалізовано панель швидкого доступу до функцій: перегляд відгуків, рейтинг, публікації, нагороди. Також тут розміщено контактну інформацію та клікабельні іконки соціальних мереж. Інтерфейс передбачає інтерактивні кнопки для повернення на головну сторінку, редагування профілю та автоматичне формування резюме у форматі PDF. Загалом сторінка поєднує структурований академічний контент з елементами цифрової ідентичності користувача. Такий підхід дозволяє підвищити рівень прозорості, довіри та професійної представленості викладача в інформаційному середовищі інтегрованої інформаційної системи EduConnect.UA.

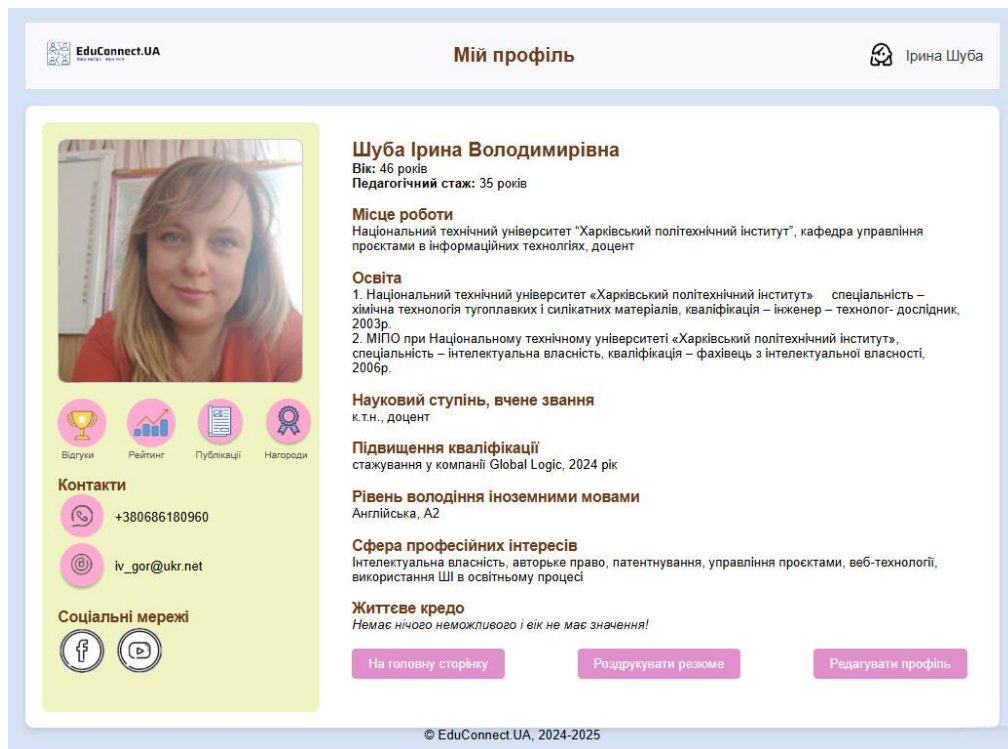


Рис. 5. Скрін сторінки профілю зареєстрованого користувача в ролі «Викладач»

Висновки. Проведений аналіз підтверджує високу актуальність та значний потенціал розробки інтегрованої інформаційної системи для всіх учасників освітнього процесу. Поточний EdTech ринок в Україні та світі демонструє стійке зростання та потребу в комплексних рішеннях, що можуть задовольнити багатогранні потреби викладачів, адміністраторів закладів освіти, батьків та здобувачів. Фрагментованість існуючих платформ створює значні незручності для користувачів, тоді як запропонована система, об'єднуючи функціонал професійних портфоліо, HR-менеджменту та пошуку репетиторів, створює унікальну синергію.

Розроблена інформаційна система не лише спрощує взаємодію, а й формує «екосистему довіри», де репутація викладача підкріплюється як офіційними даними про кваліфікацію, так і реальними відгуками від здобувачів. Такий підхід вирішує проблему асиметрії інформації та підвищує якість освітніх послуг. Крім того, система має потенціал стати активним інструментом для персоналізованого професійного розвитку освітян, пропонуючи релевантні курси та можливості на основі аналізу їхніх профілів та потреб ринку. Це відповідає сучасним трендам у HR-менеджменті та безперервному навчанні. Особливої актуальності проект набуває в контексті поточної ситуації в Україні, де війна виступила каталізатором прискореної діджиталізації освіти, посиливши потребу в гнучких, доступних та безпечних онлайн-рішеннях. Система може стати ключовим інструментом для забезпечення безперервності освітнього процесу та підтримки професійного розвитку педагогів в умовах кризи.

Список літератури

1. Education Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report By Sector (Preschool, K-12, Higher Education), By End Use (Business, Consumer), By Type, By Deployment, By Region, And Segment Forecasts, 2025 – 2030 URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/education-technology-market> (дата звернення: 13.06.2025).
2. Private Tutoring Market Size, Share, Trends and Forecast by Learning Method, Course Type, Application, End User, and Region, 2025 – 2033. 2030 URL: <https://www.imarcgroup.com/private-tutoring-market> (дата звернення: 13.06.2025).
3. Було — стало. 5 трендів освіти, що чекатимуть на нас у 2025 році. URL: <https://ed-era.com/blog/osvitni-trendy-2025/> (дата звернення: 14.06.2025).
4. Шестобуз О. Особливості використання інформаційних технологій в освітньому процесі початкової школи. *Acta Paedagogica Volynienses*, Вип. 1, т. 2, 2022. С. 216-221. URL: <https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5047/%D0%A8%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B1%D1%83%D0%B7%20%D0%9E.%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 14.06.2025).
5. Пшенична І. Використання інформаційних технологій у процесі формування навичок самостійної освітньої діяльності здобувачів вищої освіти. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2023. 10(8), С. 47–53. URL: <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i8-007> (дата звернення: 14.06.2025).
6. Сіняєва О., Крекот М., Завгородній О., Сичова Т., Сичов А., Сіняєва О. Особливості використання інформаційних технологій в освіті. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2023. Том. 11, №7. С. 98-104. DOI: 10.31110/2616-650X-vol11i7-013. (дата звернення: 14.06.2025).
7. Ринок онлайн освіти в Україні - аналітичний огляд. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-onlajn-obrazovaniya-v-ukraine-analiticheskij-obzor> (дата звернення: 14.06.2025).
8. Гризун Л.Е. Електронне портфоліо сучасного вчителя як засіб підвищення його професійної майстерності. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Творча особистість учителя: проблеми теорії і практики*, 2012. № 17. С.162-167.
9. Бойко О.І. Електронне портфоліо викладача – альтернативна форма оцінки його педагогічної діяльності та професіоналізму.

- Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*, 2017. № 1. С.150-155. URL: https://www.visnyk.chdtu.edu.ua/images/tech/1_2017/150-155_%D0%91%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%BE.pdf (дата звернення: 14.06.2025).
10. Морзе Н.В., Варченко-Троценко Л.О. Е-портфоліо як інструмент відкритості та прозорості освітньої діяльності сучасного університету. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2016. Том 52, №2. С.23-36. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/14831/> (дата звернення: 14.06.2025)
 11. *Сторінка CV Wizard для генерації резюме* https://www.cvwizard.com/ua?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvyofzhexu3cBh68K68YPmgP35N4_cdcLoG7k_vBmGPKvyVTb0_APvRxoCuuYQAvD_BwE (дата звернення: 09.06.25).
 12. *Головна сторінка ресурсу Махара*. URL: <https://mahara.org> (дата звернення: 05.06.25).
 13. *Головна сторінка ресурсу Portfolium* URL: <https://portfolium.com/> (дата звернення: 05.06.25).
 14. *Головна сторінка ресурсу Paycor*. URL: <https://www.paycor.com/> (дата звернення: 14.06.25).
 15. 8 трендів у сфері HR-технологій у 2024 році, які революціонізують нашу роботу URL: <https://www.lanteria.com/news/hr-tech-trends> (дата звернення: 14.06.25).
 16. Siafis V., Rangoussi M., Psaromiligkos Y. Recommender Systems for Teachers: A Systematic Literature Review of Recent (2011–2023) Research. *Educ. Sci.* 2024. 14(7), 723 URL: <https://doi.org/10.3390/educsci14070723> (дата звернення: 05.06.25)
- the process of forming self-educational activity skills in higher education students]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka* [Education. Innovation. Practice], 2023, vol. 10(8), pp. 47–53. doi: <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i8-007> (accessed 14.06.2025).
6. Sinyayeva O., Krekot M., Zavgorodnii O., Sychova T., Sychov A., Sinyayeva O. Osoblyvosti vykorystannya informatsiinykh tekhnolohii v osviti [Features of the use of information technologies in education]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka* [Education. Innovation. Practice], 2023, vol. 11, no. 7, pp. 98–104. doi: 10.31110/2616-650X-vol11i7-013 (accessed 14.06.2025).
 7. *Rynok onlain osvity v Ukraini – analitychnyi ohlyad* [Online education market in Ukraine – analytical overview]. Available at: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-onlain-obrazovaniya-v-ukraine-analicheskij-obzor> (accessed 14.06.2025).
 8. Hryzun L. Ye. Elektronne portfolio suchasnoho vchytyela yak zasib pidvyshchennya yoho profesiynoi maisternosti [Electronic portfolio of a modern teacher as a tool for enhancing his professional skills]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Dragomanova. Tvorchyia osobystist' uchytyela: problemy teorii i praktyky* [Scientific journal of the M. P. Dragomanov National Pedagogical University. The creative personality of the teacher: problems of theory and practice], 2012, no. 17, pp. 162–167.
 9. Boiko O. I. Elektronne portfolio vykladacha – alternatyvna forma otsinky yoho pedahohichnoi diyal'nosti ta profesionalizmu [Electronic portfolio of a teacher – an alternative form of evaluating his pedagogical activity and professionalism]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Cherkasy State Technological University. Technical Sciences], 2017, no. 1, pp. 150–155. Available at: https://www.visnyk.chdtu.edu.ua/images/tech/1_2017/150-155_Boiko.pdf (accessed 14.06.2025).
 10. Morze N. V., Varchenko-Trotsenko L. O. E-portfolio yak instrument vidkrytosti ta prozorosti osvityniyi diyal'nosti suchasnoho universytetu [E-portfolio as a tool of openness and transparency in the educational activity of a modern university]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannya* [Information technology and learning tools], 2016, vol. 52, no. 2, pp. 23–36. Available at: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/14831/> (accessed 14.06.2025).
 11. *CV Wizard. Storinka dlia heneratsii rezyume* [CV Wizard resume generator page]. Available at: <https://www.cvwizard.com/ua> (accessed 09.06.2025).
 12. *Holovna storinka resursu Mahara* [Homepage of Mahara platform]. Available at: <https://mahara.org> (accessed 05.06.2025).
 13. *Holovna storinka resursu Portfolium* [Homepage of Portfolium platform]. Available at: <https://portfolium.com/> (accessed 05.06.2025).
 14. *Holovna storinka resursu Paycor* [Homepage of Paycor platform]. Available at: <https://www.paycor.com/> (accessed 14.06.2025).
 15. *8 trendiv u sferi HR-tekhnolohii u 2024 rotsi, yaki revoliutsionizuiut' nashu robotu* [8 HR tech trends in 2024 that will revolutionize our work]. Available at: <https://www.lanteria.com/news/hr-tech-trends> (accessed 14.06.2025).
 16. Siafis V., Rangoussi M., Psaromiligkos Y. Recommender Systems for Teachers: A Systematic Literature Review of Recent (2011–2023) Research. *Education Sciences*, 2024, vol. 14, no. 7, 723. doi: <https://doi.org/10.3390/educsci14070723> (accessed 05.06.2025).

References (transliterated)

Відомості про авторів / About the Authors

Шуба Ірина Володимирівна (Shuba Iryna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри управління проектами у сфері інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: i.v_gor@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3650-8506>

Лобач Олена Володимирівна (Lobach Olena) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри управління проектами у сфері інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: e.v.lobach@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-9997>.

Лисенко Антон Олександрович (Lysenko Anton) – старший викладач кафедри управління проектами в інформаційних технологіях, кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: anton.lysenko@khp.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5588-8340>

ЗМІСТ

Бушуєв С., Пузійчук А., Бушуєва Н., Бушуєва В., Бушуєв Д.	
Стратегічний розвиток освітніх програм під впливом ІІІ (eng.)	3
Бугаєвський М. С., Петренко Ю. А.	
Багаторівневе планування й управління у розвитку виробництва та ланцюжках поставок бетону	10
Буренко В. О., Чернов С. К.	
Синтез групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів в процесі логістичного забезпечення міських пасажироперевезень	18
Горлов А. С., Гардер С. Є., Бондаренко В. П., Бубнов В. О., Колбасін В. О., Сердюк І. В.	
Моделювання індивідуальної техніки ефективного та раціонального відштовхування кваліфікованих легкоатлетів-стрибунів у довжину	29
Москаленко В. В., Фонта Н. Г., Косенко В. А., Сало А. О., Кірнічев Ю. А.	
Бізнес-процес побудови User Story Mapping з використанням рекомендаційної системи	38
Ясінецький О. О., Фесенко Т. Г.	
Управління ризиками ІТ проєктів: аналітичний огляд досліджень	47
Шерстюк О. І.	
Модель цілепокладання у проєктах розвитку підприємств морської галузі	58
Шуба І. В., Лобач О. В., Лисенко А. О.	
Аналіз актуальності, конкурентного середовища та архітектурних рішень інтегрованої інформаційної системи для освітян	67

CONTENTS

Bushuyev S., Puzichuk A., Bushuyeva N., Bushuieva V., Bushuiev D. Strategic development of Education program Under the Influence of AI	3
Bugaevskyi M., Petrenko Y. Multi-level planning and management in concrete production development and supply chains	10
Burenko V., Chernov S. Synthesis of group solutions for solving the choosing vehicles problem in the logistics support process of urban passenger transportation	18
Horlov A., Harder S., Bondarenko V., Bubnov V., Kolbasin V., Serdiuk I. Modeling of individual techniques for effective and rational pushing of qualified long jumpers	29
Moskalenko V., Fonta N., Kosenko V., Salo A., Kirpichev Y. Business process of User Story Mapping building based on using the recommender system.....	38
Yasinetskyi O., Fesenko T. IT project risk management: an analytical review of research	47
Sherstiuk O. Goal-setting model for development projects in the maritime industry	58
Shuba I., Lobach O., Lysenko A. Analysis of relevance, competitive environment and architectural solutions for an integrated information system for educators.....	67

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ».
СЕРІЯ: СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ, УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ,
ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЕКТАМИ**

Збірник наукових праць

№ 1 (10) 2025

Науковий редактор: Кононенко І. В., д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна
Технічний редактор: Лобач О. В., канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний за випуск Лобач О. В., канд. техн. наук, доцент

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра управління проектами в інформаційних технологіях.
Тел.: (057) 707-68-24; e-mail: e.v.lobach@gmail.com
Сайт: pm.khpi.edu.ua

Обл.-вид № 1-25

Підп. до друку 30.12.2024 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний 80 г/м².
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,3. Облік.-вид. арк. 9,3.
Тираж 100 пр. Зам. № 160450. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Цифрова друкарня ТОВ «Смугаста типографія»
Ідент. код юридичної особи: 38093808
Україна, 61002, м. Харків, вул. Чернишевська, 28 А. Тел. (057) 754-49-42