ISSN: 2336-3630

STŘEDOEVROPSKÝ VĚSTNÍK PRO VĚDU A VÝZKUM

Vol. 1 № 5. 2026



Licencováno pod veřejnou mezinárodní licencí Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0)

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 1. № 5. 2026

Praha, České republika 2026

Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín “**Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum**” je registrován v České republice. Státní registrační číslo u Ministerstva kultury ČR: E 21425. Vol. 1. № 5. 2026. str. 184.

Vydavatel:

Publishing house Education and Science s.r.o. IČO : 271 56 877.
Frýdlanská 15/1314 , Praha 8. MS v Praze , oddíl C,vložka 100614

Editorial Board:

Editor-in-Chief –

Datsii O.I., Doctor of Economics, Professor, Honored Worker of Education of Ukraine, President of the PO "Association of Scientists of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Deputy Editor-in-Chief –

Ekimov S.V., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Director of Publishing House Education and Science, Prague, Czech Republic

Romanenko E.O., Doctor of Public Administration, Professor, Honored Lawyer of Ukraine, President of the public scientific organization “All-Ukrainian Assembly of Doctors of Public Administration”, Kyiv, Ukraine

Editorial Board Members:

Shpachuk V.V., Doctor of Public Administration, Professor, Visiting Professor Newcastle University Business School, Newcastle, UK

Levchenko N.M., Doctor of Public Administration, Professor, Research scientist Berlin University of Economics and Law, Berlin, Germany

Khraschevskyi R.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv, Ukraine

Mykolayets D.A., Doctor of Laws, Professor, Kyiv, Ukraine

Ulyanchenko Yu.O., Doctor of Public Administration, Associate Professor, Kyiv, Ukraine

Blyznyuk A.S., Doctor of Public Administration, Professor, Kyiv, Ukraine

Kartashov E.G., Doctor of Public Administration, Professor, Kyiv, Ukraine

Články jsou vyvěšeny v redakci autora. Za obsah a pravopis zaslaných materiálů odpovídají autoři

© Publishing house Education and Science s.r.o., Česká republika, 2026
© Public Organization "Association of Scientists of Ukraine", Ukraine, 2026
© autoři článků, 2026

CONTENT

Kandyba Ihor, Horban Hlib, Fisun Mykola

PYTHON-BASED TOOLS FOR WEB-ORIENTED MANAGEMENT OF A WINDOWS-BASED COMPUTER 5

Марченко Станіслав

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ З 3D-ДРУКУ НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ 19

Prus Bohdan, Rakytyanska Hanna

TRANSFER LEARNING SOFTWARE SYSTEM FOR ROAD RISK ASSESSMENT BASED ON OBJECT AND HUMAN BEHAVIOURAL FEATURES 37

Taranenko Iryna, Strelchenko Inna, Sokolova Viktoriia

INTEGRATION WITHOUT MIGRATION: THE ROLE OF EUROPEAN-ORIENTED EDUCATION AND COMMUNICATION NARRATIVES IN YOUTH RETENTION IN UKRAINE 51

Zhytnik Tetiana

EPISTEMIC RECONFIGURATION AND APPROACHES TO LEARNING: A MENTAL-EMPATHIC APPROACH IN PRESCHOOL AND ART EDUCATION 64

Borshch Vyacheslav

METHODOLOGICAL SUPPORT AND EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE INNOVATION INFRASTRUCTURE SUBJECTS IN UKRAINE'S DEFENSE SPHERE 76

Овсянко Дмитро

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ПЕРЕВАГИ ТА РИЗИКИ 91

Складанюк Олексій

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ РЕДАГУВАННЯ ІГРОВИХ СЦЕН У СЕРЕДОВИЩАХ РОЗРОБКИ ВІДЕОІГОР 101

Строков Ігор

СУЧАСНІ ТРЕНДИ ПОЛІТИКИ МІЖНАРОДНОЇ БЕЗПЕКИ 121

Сюсюкан Юрій

ФАСИЛІТАТОРСЬКА РОЛЬ ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ В УМОВАХ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ 137

Shevel Boris, Mosin Oleksandr, Illienko Yurii, Malyshev Yurii, Bocherova Karina

DEVELOPING PRICING SKILLS IN FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS DURING THE DESIGN AND MANUFACTURE OF PRODUCTS 151

Shevel Boris, Mosin Oleksandr, Illienko Yurii, Malyshev Yurii, Bocherova Karina

DEVELOPING PRICING SKILLS IN FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS DURING THE DESIGN AND MANUFACTURE OF PRODUCTS 151

Квашук Дмитро

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА БІЗНЕС-АНАЛІЗУ ПРОДАЖІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ 165

Kandyba Ihor, PhD, Senior Lecturer of the Department of Software Engineering, Petro Mohyla Black Sea National University, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8589-4028

Horban Hlib, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Petro Mohyla Black Sea National University, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6512-3576

Fisun Mykola, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Software Engineering, Petro Mohyla Black Sea National University, ORCID: ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1297-6230

PYTHON-BASED TOOLS FOR WEB-ORIENTED MANAGEMENT OF A WINDOWS-BASED COMPUTER

Abstract

This paper investigates the capabilities of the Python programming language for implementing web-based control of the Windows operating system and proposes an implementation of an information system that enables such control. An analysis of recent publications in the field of Windows system administration is conducted, and the main research directions in this area are identified. The study determines the set of tools required for implementing a web interface in applications developed using Python. The features of the Django web framework are described in the context of remote computer control. Python libraries for analyzing the Windows operating system and computer hardware are examined, and their advantages and disadvantages are identified and compared. The role of the Windows Event Log in the process of Windows system administration is outlined, and Python tools for interacting with Windows Event Log are analyzed. A web interface for visualizing these logs is presented. The integration of Large Language Models, specifically the Gemini 3 Flash model, for

analyzing Windows Event Log data is proposed. The process of integrating this model into the developed remote control system is described. The Windows Registry and its role in software management within the Windows operating system are also examined. Python tools for working with the Windows Registry are reviewed, and the process of uninstalling installed software using registry keys is described. Furthermore, the specifics of launching additional software using the subprocess module are investigated. The capabilities of the Winget package manager are analyzed, along with its features in the Windows environment. An implementation of package list updating and software installation using a combination of Python tools and Winget is presented. Finally, potential directions for further development of the proposed information system for remote control of computers running the Windows operating system are identified, including the integration of advanced data analysis tools and artificial intelligence technologies: TensorFlow, PyTorch and Waikato Environment for Knowledge Analysis.

Keywords: Python, Django, Windows Event Log, Windows Registry, Software development.

Problem statement. Management and administration of a computer network running the Windows operating system requires specialized tools. The most widespread solution is Active Directory, which enables remote configuration of the operating system, user management, software deployment, and more. However, tasks such as monitoring the use of computational resources and processing event logs require additional tooling.

Most often, remote access protocols such as Secure Shell (SSH), Remote Desktop Protocol (RDP), and Virtual Network Computing (VNC) are used to address these tasks. Nevertheless, the use of remote access protocols for remote management has certain drawbacks, including the lack of capabilities for viewing

the history of resource monitoring, the need for additional software for data analysis, and the requirement to install extra cross-platform tools.

In operating systems based on the Linux kernel, web-oriented administration tools (e.g., Webmin) are widely used [1, p. 80], providing centralized management, monitoring, and event history storage through a web browser. Similar applications also exist for Windows; however, they are less widespread and are often focused on managing server applications and services. Meanwhile, the primary administration tools for Windows remain RDP, PowerShell, and local graphical utilities. The use of the Python programming language makes it possible to monitor the utilization of a computer's computational resources, implement management functions, analyze activity logs, and develop a web interface to provide access to this functionality.

Analysis of recent research and publications. In the field of Windows operating system administration, the study of the applicability of Large Language Models (LLMs) for activity log analysis is of particular relevance. In study *Karlsen, E., Luo, X., Zincir-Heywood, N., Heywood, M.* [2, p. 35], the authors propose a specialized web application that leverages LLMs to detect system malfunctions and generate recommendations for their resolution and for improving OS performance. The authors also analyze the effectiveness of LLM-generated recommendations and their interpretability by users. Although the study demonstrates the potential of LLMs to simplify the administration of Windows-based computers, the issue of implementing this approach through a web interface requires further investigation.

In paper *Sudharson, K., Balaji, S., Deepak Reddy, A., Sai Ram, V.* [3, p. 435], the Remote Desktop Protocol (RDP), which is used by Windows by default, is examined. The authors present the main advantages and disadvantages of this protocol in an educational context. In addition, an alternative protocol for connecting to a remote computer is proposed, which allows multiple users to

connect to a single desktop and results in lower network traffic consumption. However, the use of the proposed solutions via a web interface remains an open question requiring further research.

A relevant research direction in system administration is the use of Security Information and Event Management (SIEM) systems. Publication *Vielberth, M.* [4, p. 2304] describes the application of these systems for analyzing Windows OS activity logs in order to detect malware, identify software and hardware malfunctions, and diagnose network issues. The article demonstrates the feasibility of analyzing collected data from Windows activity logs; however, issues related to monitoring the use of computational resources and remote computer management require further study.

The conducted analysis indicates that remote management tools and activity log analysis are important in the field of computer administration. However, the integration of remote management tools with data analysis of computational resource usage and Windows OS activity logs remains an open problem requiring further investigation.

Formulation of the article's objectives. The aim of this study is to develop an information system for web-based computer management supporting the Windows operating system using Python tools. The development of such a system will simplify the administration of computer networks running Windows OS.

The main tasks to be addressed in order to achieve this goal are:

1) identification of Python tools for analyzing hardware and the Windows operating system;

2) analysis of tools for developing web interfaces for applications implemented in the Python programming language;

3) investigation of the possibilities of installing and uninstalling software using Python;

4) identification of prospective directions for the development of a web-based management system.

Main part. Tasks related to monitoring the usage of computational resources and analyzing event logs require the use of specialized software tools, as remote access protocols SSH, RDP, and VNC provide only the capability to connect to a remote system, but are not designed for collecting, storing, and analyzing historical data on resource states. Therefore, effective monitoring and event processing typically rely on dedicated tools, which may require the installation of additional software.

The development of an information system for web-based computer management is impossible without tools for monitoring the use of computational resources. The Python programming language provides several libraries that implement this functionality in the Windows operating system, including psutil, system_info, cpuinfo, wmi, and others. Each library is designed to analyze a specific component:

– *system_info* allows determining the characteristics of the operating system. When developing a computer management application, it is crucial to accurately identify the OS kernel in order to use appropriate implementation tools. For example, wmi is designed exclusively for Windows and cannot be used with other operating systems.

– *cpuinfo* is a library that provides detailed information about the computer's central processing unit. It outputs data such as the model, clock frequency, supported protocols, architecture, and cache size. The library is cross-platform, enabling the application to be used on Linux-based operating systems, which in turn facilitates further development of web-based management systems.

– *psutil* is a cross-platform library for monitoring OS resource usage, including current CPU load, total and available RAM, disk storage capacity (used

and free), network speed, and more. In addition, it allows process management and access to data from built-in sensors.

– *WMI* is a library that enables interaction between Python and the Windows Management Instrumentation framework. This framework collects information about all connected devices and allows process management and modification of system settings. WMI is based on an object-oriented model, where all information about the computer is represented as classes.

The listed tools make it possible to implement monitoring of the Windows OS. However, presenting the obtained information requires the use of an interface. Python supports several specialized frameworks for implementing such interfaces, including Flask, FastAPI, and Django. In the context of developing an interface for a web-based computer management information system, Django is the most appropriate choice.

Django provides Object-Relational Mapping (ORM) for database interaction, an authentication system, user session management mechanisms, protection against common vulnerabilities (such as SQL injection and CSRF attacks), and an automatically generated administrative panel.

Web pages are rendered using templates and a dedicated markup language known as the Django Template Language (DTL) [5, p. 34]. This is a text-based language with syntax similar to standard HTML but enhanced with special constructs that allow adding logic, such as displaying variables, creating loops, and using conditional statements.

When implementing a web-based monitoring system, dynamic page generation is required to display the current level of computational resource usage, hardware information, operating system activity logs, and the results of software installation and removal operations (Fig. 1).

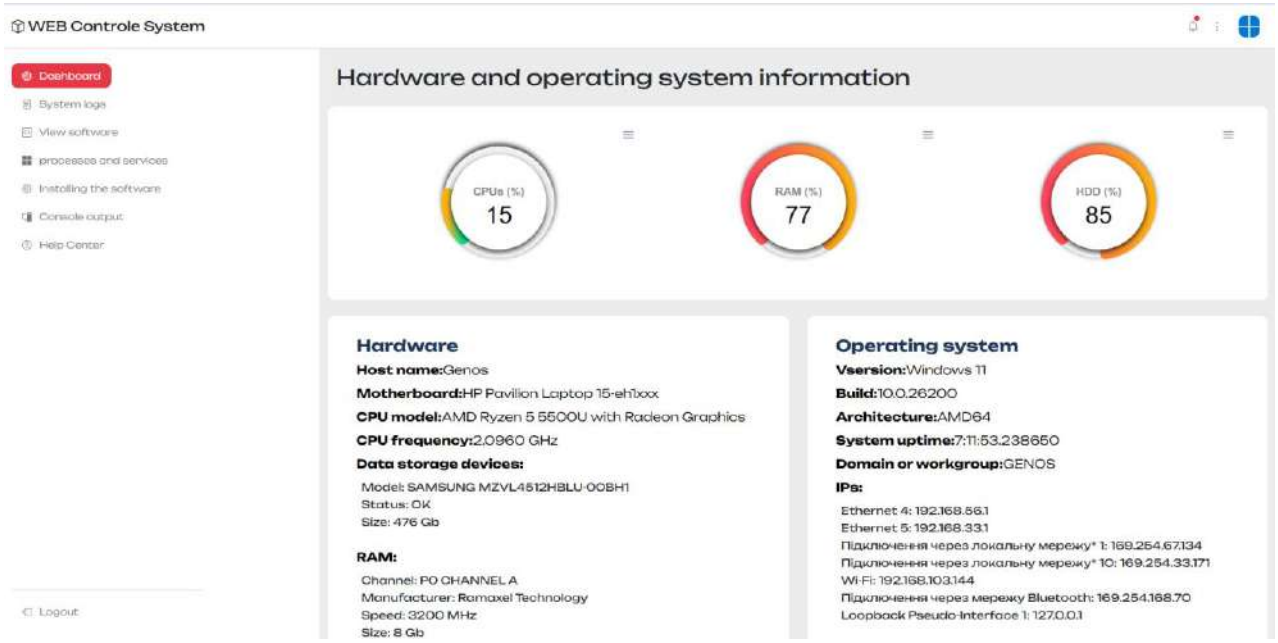


Fig. 1. Interface of the Information System for Web-Based Computer Management Running the Windows Operating System

In addition to displaying the current usage of computational resources, a web-based management information system should provide the ability to view operating system activity logs. In Windows OS, these logs are referred to as the Windows Event Log (WEL) and can be read and analyzed using the Python programming language. WEL is a centralized event logging system that contains records of Windows OS operations, security-related events (such as login attempts and file access), and the results of other software execution. For administrators, these logs are a critical tool, as they enable in-depth security auditing, timely diagnosis of system issues, and tracking of user activity within the network.

The Pywin32 library enables interaction between Python and the built-in Windows tools for working with WEL. Using Pywin32 is significantly faster [6] than processing exported WEL data and does not require executing additional commands via subprocess. This makes it possible to display current logs through a web interface (Fig. 2) and integrate additional processing tools, such as Large Language Models LLMs).

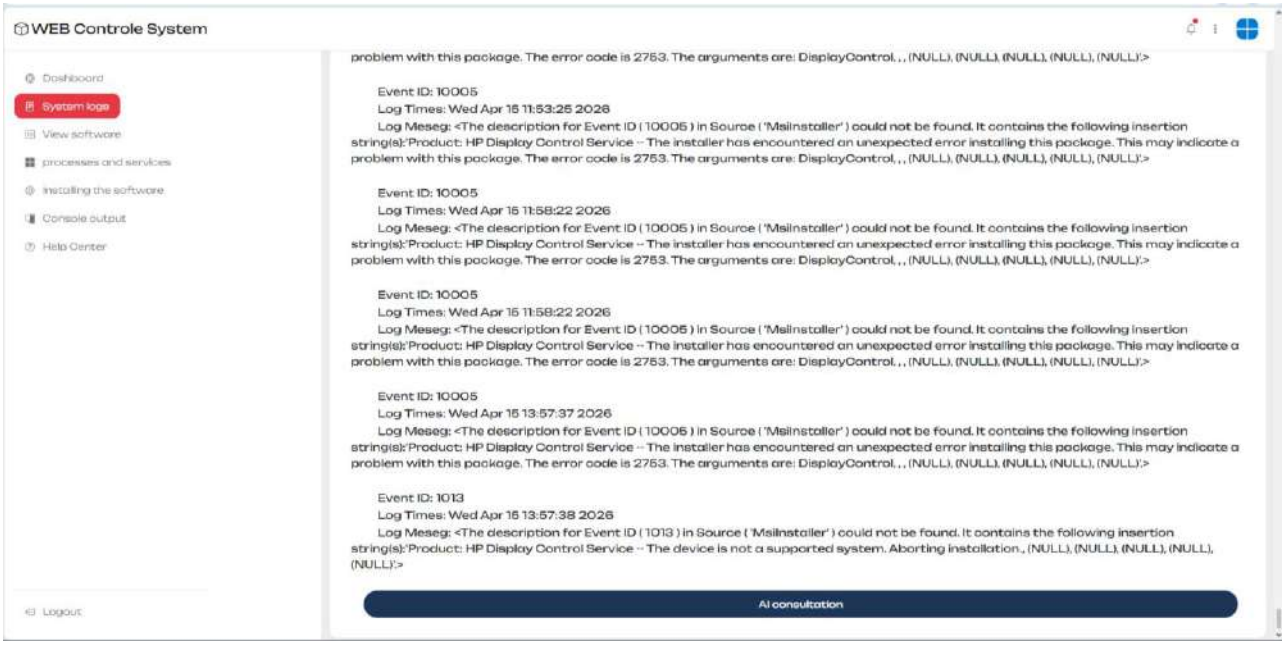


Fig. 2. Interface for Viewing the WEL

A large number of records in the Windows Event Log (WEL) complicates the process of diagnosing the Windows operating system. To simplify this process, the capability of obtaining assistance from AI tools, such as Large Language Models (LLMs), has been implemented. LLMs are a type of AI technology based on neural network architectures, trained on large volumes of textual data to understand and analyze user queries. The Python programming language enables integration with LLMs of various architectures, including Gemini 3 Flash, which is one of the largest and fastest models available on the modern market [7].

Interaction with Gemini 3 Flash in Python is implemented by connecting the google-generativeai library and generating requests using the generate_content() method, with prior model selection via GenerativeModel(). However, to use this model, it is necessary to create and configure a dedicated project in the Google AI Studio service. This service not only allows configuration of API keys for integrating Gemini 3 Flash or other Gemini models but also supports LLM testing and comparative analysis.

Management of the Windows operating system necessarily includes the ability to install and uninstall software. An information system built with Python can use several approaches to obtain information about installed software: WMI tools, data from the Windows Registry, or launching separate applications via subprocess. The disadvantage of WMI lies in its excessive consumption of computational resources, as queries to built-in classes such as Win32_Product trigger a full integrity check of each MSI package. At the same time, data obtained via subprocess requires additional processing and may lead to encoding conflicts (for example, between systems using UTF-8 and CP-1251). Moreover, both approaches create a significant load on the operating system due to the execution of additional processes or services, making them less stable and secure compared to direct access to the Windows Registry [8, pp. 50].

Accessing Windows Registry data in Python can be achieved using the winreg library. This is a built-in Python module that provides direct access to the Windows Registry API and supports the creation and modification of keys and their values. Due to this direct access, winreg enables fast retrieval of installed software lists, management of startup programs, and modification of user system settings.

The Windows Registry section *HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Uninstall* contains information about applications installed in the Windows OS. In this section, a subkey is created for each application, typically named as a GUID or the application name. Each subkey includes a set of parameters such as DisplayName (application name), DisplayVersion (version), Publisher (vendor), InstallDate (installation date), and UninstallString (command for uninstallation). These data are used by the system and third-party tools to display the list of installed software in the “Programs and Features” control panel and can also be utilized for software removal through a web-based computer management system (Fig. 3).

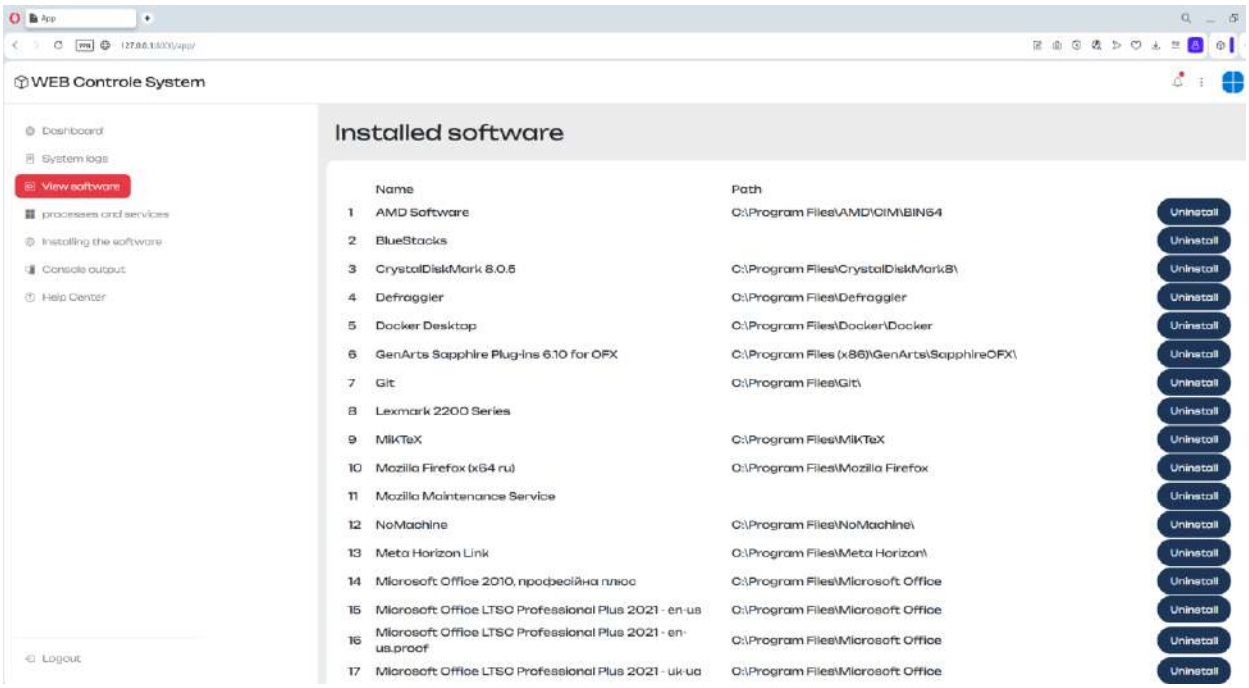


Fig. 3. Interface for viewing installed software

The QuietUninstallString subkey in the Windows Registry contains a command for “silent” software uninstallation without user interaction. This method, unlike UninstallString, which typically launches a standard uninstaller with a graphical interface, involves the use of specific parameters (e.g., /quiet, /silent, /qn) that allow the process to run in the background. This approach to uninstallation is essential for implementing web-based management.

The subprocess module of the Python programming language provides the ability to execute OS commands, which makes it possible to use the value of QuietUninstallString to uninstall software via a web-based management system. The QuietUninstallString is passed to functions such as subprocess.run(), ensuring the execution of the command specified in this parameter.

Software installation can be implemented using the winget tool. This tool, also known as Windows Package Manager (winget) [9, pp. 35], is an official package management solution in the Microsoft Windows operating system, developed by Microsoft to simplify the installation, updating, and removal of

software via the command line. It enables automation of software management by using a centralized application repository and standardized commands such as install, upgrade, list, and uninstall.

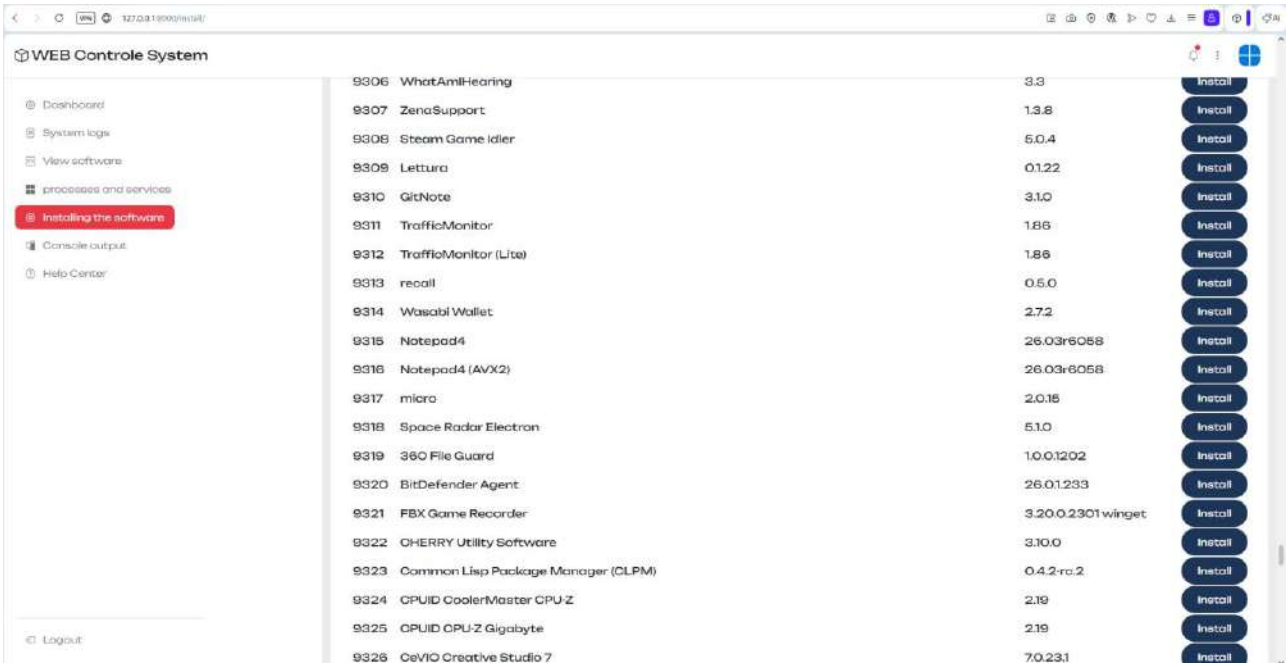


Fig. 4. Interface for viewing available software in Winget

An implicit advantage of using Winget is the reduced risk of installing malicious software. This tool installs applications from a centralized repository where software is verified and validated. When using Winget, installation does not require downloading third-party installers, which, when obtained from external sources, often conceal malicious software. In addition, Winget simplifies the software management process, helping to avoid the use of outdated versions with known vulnerabilities.

However, the use of Winget does not guarantee complete security. There is always a risk of installing unwanted or potentially harmful software, as well as possible supply-chain threats. Therefore, even when using Winget, it is still necessary to employ specialized security software to protect the computer system.

In future work, to improve the process of diagnosing software and hardware issues, it is planned to integrate additional Python tools such as TensorFlow and PyTorch, which will enable the development of more advanced machine learning models. Furthermore, by leveraging the built-in ORM and connecting an additional database, it becomes possible to implement analysis of the history of computational resource usage. Such analysis can be performed using various approaches, including the previously mentioned LLMs, TensorFlow, PyTorch, or by utilizing the WEKA toolkit.

The WEKA platform (Waikato Environment for Knowledge Analysis) is a representative open-source software suite designed to automate data mining and machine learning processes [10 p. 21]. Its relevance lies in the consolidation of an extensive library of modern machine learning algorithms, statistical modeling techniques, and methods for evaluating the adequacy of obtained results. The use of WEKA will make it possible to analyze the history of collected measurements of computational resource usage, WEL records, and to identify potential issues based on this data.

Conclusions

1) An analysis of Python tools that enable the inspection of hardware and the characteristics of the installed Windows operating system was conducted. Three of the most suitable tools were selected: system_info for retrieving operating system information, cpuinfo for obtaining central processing unit specifications, Psutil for monitoring implementation, and WMI for determining the characteristics of the GPU, RAM, and storage devices.

2) Tools for implementing a web interface in applications developed using the Python programming language were analyzed. The web framework with the highest level of functionality–Django was selected. Its capabilities are briefly described in the context of developing tools for web-based computer control.

3) The possibilities of installing and uninstalling software in the Windows operating system using Python and Winget were investigated. The capability of viewing WEL via a web interface and their subsequent analysis was also examined.

4) Directions for improving the developed web-oriented information system for computer control were proposed. The potential integration of more advanced artificial intelligence tools–TensorFlow, PyTorch, and the WEKA platform–was considered.

References

1) Westfall, J. (2021). Basic Linux Administration via GUI (Webmin). In Set Up and Manage Your Virtual Private Server: Making System Administration Accessible to Professionals (pp. 77-110). Springer.

2) Karlsen, E., Luo, X., Zincir-Heywood, N., & Heywood, M. (2024). Benchmarking Large Language Models for Log Analysis, Security, and Interpretation. Journal of Network and Systems Management, 32(3), 59. https://doi.org/10.1007/s10922-024-09831-x

3) Sudharson, K., Balaji, S., Deepak Reddy, A., & Sai Ram, V. (2022). Speedy and secure remote management protocol using virtualization. International Conference on Innovative Computing and Communications: Proceedings of ICICC 2022, Volume 3, 435-442. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3679-1_35

4) Vielberth, M. (2025). Security Information and Event Management (SIEM). In S. Jajodia, P. Samarati, & M. Yung (Eds.), Encyclopedia of Cryptography, Security and Privacy (pp. 2304–2306). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71522-9_1681

5) Mele, A. (2020). Django 3 By Example: Build powerful and reliable Python web applications from scratch. Packt Publishing Ltd.

6) Studiawan, H., Sohel, F., & Payne, C. (2020). Automatic Event Log Abstraction to Support Forensic Investigation. ACSW '20: Australasian Computer Science Week 2020. ACM. DOI:https://doi.org/10.1145/3373017.3373018

7) Zhang, P., Wang, J., Hu, X., Wang, X., Fan, X., Chi, W., & Yang, W. (2026). Comparative performance of GPT-4, GPT-o3, GPT-5, Gemini-3-Flash, and DeepSeek-R1 in ophthalmology question answering. Frontiers in Cell and Developmental Biology, Volume 14. https://doi.org/10.3389/fcell.2026.1744389

8) Halsey, M., & Bettany, A. (2015). Windows registry troubleshooting. Apress.

9) Ifrah, S. (2024). Install Tools (Azure CLI, Azure PowerShell, VS Code, Copilot). In Getting Started with Azure OpenAI: Deploying and Managing Azure AI and Azure OpenAI Solutions (pp. 33–79). Springer.

10) Aher, S. B., & Lobo, L. (2011). Data mining in educational system using Weka. In Proceedings of the International Conference on Emerging Technology Trends (ICETT) (pp. 20-25).

Марченко Станіслав Сергійович, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри технологічної і професійної освіти Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка, м. Глухів, Україна, https://orcid.org/0000-0002-4962-1831

Marchenko Stanislav Serhiyovych, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological and Professional Education, Hlukhiv National Pedagogical University named after Oleksandr Dovzhenko, Hlukhiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-4962-1831

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ З 3D-ДРУКУ НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR DIFFERENTIATING 3D PRINTING LEARNING TASKS IN TECHNOLOGY EDUCATION AT GENERAL SECONDARY SCHOOLS

Анотація

У статті розглянуто проблему теоретичного обґрунтування диференціації навчальних завдань з 3D-друку на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти. Актуальність дослідження зумовлена активним упровадженням адитивних технологій у шкільну практику, що відкриває нові можливості для розвитку технологічної грамотності, просторового мислення, проєктних та інженерних умінь учнів, однак водночас виявляє недостатню розробленість методичних засад добору навчальних завдань відповідно до вікових і когнітивних особливостей здобувачів освіти. Метою статті є теоретичне обґрунтування засад

диференціації навчальних завдань з 3D-друку на основі аналізу психолого-педагогічних концепцій вікового розвитку та сучасних досліджень у галузі використання адитивних технологій в освіті, а також визначення критеріїв добору завдань і рівнів їх складності. У дослідженні використано методи теоретичного аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення наукових джерел і теоретичного моделювання. Установлено, що теоретичним підґрунтям диференціації навчальних завдань з 3D-друку є теорія стадій когнітивного розвитку J. Piaget, концепція зони найближчого розвитку L. Vygotsky та теорія конструкціонізму S. Papert та I. Harel. Визначено, що ефективна організація навчання з 3D-друку потребує врахування вікових особливостей учнів, рівня сформованості просторового мислення, ступеня самостійності, характеру педагогічної підтримки та практичної значущості результату. Обґрунтовано доцільність зосередження на учнях 5–11 класів, для яких застосування 3D-друку може бути педагогічно виправданим за умови відповідного добору змісту й рівня складності завдань. Визначено основні принципи побудови диференційованої системи навчальних завдань: відповідності когнітивному розвитку, оптимального рівня складності, практичної значущості результату, міжпредметної інтегрованості та поступового розширення самостійності. На цій основі визначено критерії добору завдань і обґрунтовано три рівні їх складності: репродуктивний, частково-пошуковий і творчо-дослідницький. Практичне значення результатів полягає в можливості використання запропонованих положень як теоретико-методологічної основи для подальшого розроблення системи практичних завдань і навчальних проєктів з 3D-друку для учнів різних вікових груп.

Ключові слова: 3D-друк, адитивні технології, уроки технологій, диференціація навчальних завдань, вікові особливості учнів, просторове мислення, технологічна освіта, навчальні проєкти.

Abstract

The article examines the problem of the theoretical substantiation of differentiated 3D-printing learning tasks in technology education at general secondary schools. The relevance of the study is determined by the active integration of additive technologies into school practice, which opens up new opportunities for the development of technological literacy, spatial thinking, and students' design and engineering skills, while at the same time revealing the insufficient development of methodological foundations for selecting learning tasks in accordance with the age-related and cognitive characteristics of school students. The purpose of the article is to provide a theoretical substantiation of the principles underlying the differentiation of 3D-printing learning tasks on the basis of an analysis of psychological and pedagogical concepts of age-related development and contemporary studies in the field of additive technologies in education, as well as to identify criteria for task selection and levels of task complexity. The study employed methods of theoretical analysis, synthesis, comparison, generalization of scholarly sources, and theoretical modeling. It was found that the theoretical foundation for differentiating 3D-printing learning tasks is formed by Piaget's theory of stages of cognitive development, Vygotsky's concept of the zone of proximal development, and Papert and Harel's theory of constructionism. It was determined that the effective organization of 3D-printing-based instruction requires taking into account students' age characteristics, the level of spatial thinking development, the degree of independence, the nature of pedagogical support, and the practical significance of the learning outcome. The focus on students in Grades 5–11 is justified, since for this age group the use of 3D printing may be pedagogically appropriate provided that the content and level of task complexity are selected properly. The main principles for constructing a differentiated system of learning tasks were identified: correspondence to

cognitive development, optimal level of complexity, practical significance of the result, interdisciplinary integration, and gradual expansion of student autonomy. On this basis, criteria for task selection were defined and three levels of task complexity were substantiated: reproductive, partially exploratory, and creative research. The practical significance of the findings lies in the possibility of using the proposed provisions as a theoretical and methodological basis for the further development of a system of practical tasks and educational projects in 3D printing for students of different age groups.

Keywords: 3D printing, additive technologies, technology education, differentiation of learning tasks, age characteristics of students, spatial thinking, technological literacy, educational projects.

Постановка проблеми. Технологія 3D-друку стрімко входить у практику загальної середньої освіти як інструмент формування технологічної грамотності, розвитку просторового мислення та практичних інженерних умінь учнів. Використання адитивних технологій на уроках технологій відкриває широкі можливості для реалізації ідей STEM- та STEAM-освіти, оскільки органічно поєднує проєктування, комп’ютерне моделювання та практичне виготовлення виробів у межах цілісної освітньої діяльності [1; 6].

Водночас упровадження 3D-принтерів у закладах загальної середньої освіти України нерідко відбувається швидше, ніж формування належного методичного забезпечення їх використання. Освітні заклади отримують сучасне обладнання, однак система добору навчальних завдань і педагогічного супроводу його використання залишається недостатньо обґрунтованою [1; 4]. Унаслідок цього вчителі технологій нерідко змушені діяти інтуїтивно, спираючись на окремі приклади чи випадкові цифрові ресурси.

Однією з ключових невирішених проблем є відсутність теоретично обґрунтованої системи диференціації навчальних завдань з 3D-друку відповідно до вікових і когнітивних особливостей учнів. На практиці одні й ті самі або подібні завдання нерідко пропонуються учням різних вікових груп без належного урахування рівня розвитку їхнього просторового мислення, здатності до абстрактного проєктування, обсягу робочої пам’яті та ступеня сформованості самостійності в технологічній діяльності [3; 7]. Це може зумовлювати зниження навчальної мотивації, фрагментарне засвоєння знань і неефективне використання можливостей 3D-друку в освітньому процесі [4; 6].

Проблема набуває особливої актуальності в умовах реформування української школи відповідно до концепції Нової української школи та вимог Державного стандарту базової середньої освіти, який орієнтує на формування в учнів здатності використовувати сучасні технології, техніку та інструменти в процесі проєктно-технологічної діяльності. Реалізація цього завдання на уроках технологій потребує науково обґрунтованого підходу до проєктування змісту та організації навчальної діяльності з 3D-друку, що спирається на положення вікової психології, сучасної педагогіки та дидактики технологічної освіти [2; 5; 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика використання 3D-друку в освітньому процесі активно досліджується як у вітчизняній, так і в зарубіжній педагогічній науці. Водночас питання теоретичного обґрунтування диференціації навчальних завдань з урахуванням вікових особливостей учнів залишається недостатньо розробленим.

У вітчизняній педагогічній науці одним із перших системних досліджень, присвячених використанню 3D-технологій в освіті, стала праця Н. В. Морзе, Л. О. Варченко-Троценко та А. Тютюнник [1], у якій обґрунтовано можливості застосування 3D-моделювання, сканування та

друку в контексті STEAM-навчання. Авторки доводять, що інтеграція 3D-технологій сприяє розвитку творчого мислення, міжпредметної інтеграції та практичних умінь проєктування. Разом із тим у цьому дослідженні питання вікової диференціації навчальних завдань не виступає окремим предметом аналізу.

У зарубіжній науці систематичний огляд емпіричних досліджень, здійснений E. Novak, M. Brannon, M. R. Librea-Carden та A. L. Haas [4], засвідчив, що більшість праць у галузі освітнього використання 3D-друку зосереджується на вивченні навчальних результатів, розвитку окремих умінь і загальних переваг технології, тоді як методичні засади добору завдань для різних вікових груп висвітлено фрагментарно. Автори наголошують на необхідності більш детального вивчення умов, за яких 3D-друк є справді ефективним засобом навчання.

H. A. Pearson та A. K. Dubé [6], аналізуючи 3D-друк як освітню технологію, виокремили низку теоретичних підходів до пояснення його дидактичного потенціалу, серед яких особливе місце посідає конструкціонізм. Дослідники доводять, що найвищу ефективність навчання забезпечує створення учнем власного матеріалізованого результату.

E. Fokides та G. Lagopati [3] у скопінговому огляді, присвяченому використанню 3D-принтерів учнями молодшого шкільного віку, дійшли висновку, що такі практики мають значний потенціал для розвитку просторових уявлень і мотивації до навчання, однак потребують спеціально організованого педагогічного середовища, високого ступеня підтримки та адаптації змісту до вікових можливостей дітей. Це особливо важливо для осмислення меж застосування 3D-друку в різних вікових групах.

T. K. Coşkun та G. F. Deniz [2], досліджуючи внесок 3D-моделювання у формування навичок XXI століття в учнів середньої школи, встановили, що систематична робота в середовищі тривимірного моделювання позитивно

впливає на розвиток критичного мислення, самооцінювання результатів діяльності та вміння планувати власну роботу. Разом із тим ефективність цього впливу залежить від відповідності змісту й складності завдань реальним когнітивним можливостям учнів.

Теоретичне підґрунтя для розроблення диференційованих підходів до навчання становлять класичні психолого-педагогічні концепції. J. Piaget [7] обґрунтував стадіальний характер когнітивного розвитку дитини та показав, що здатність до абстрактного мислення формується поступово. L. Vygotsky [8] розробив концепцію зони найближчого розвитку, яка дає змогу визначати оптимальний рівень складності навчального завдання. S. Papert та I. Harel [5] сформулювали ідеї конструкціонізму, відповідно до яких найефективніше навчання відбувається в процесі створення реального публічного артефакту.

Таким чином, аналіз наукових джерел дає підстави стверджувати, що попри наявність теоретичних ідей, які можуть бути використані для побудови системи диференціації навчальних завдань з 3D-друку, у педагогічній науці досі недостатньо розроблено цілісне обґрунтування такої системи для уроків технологій у закладах загальної середньої освіти [3; 4; 6].

Мета статті полягає в теоретичному обґрунтуванні засад диференціації навчальних завдань з 3D-друку на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти на основі аналізу психолого-педагогічних концепцій вікового розвитку та сучасних досліджень у галузі використання адитивних технологій в освіті, а також у визначенні критеріїв добору навчальних завдань і рівнів їх складності відповідно до вікових та когнітивних особливостей учнів.

Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання дослідження: проаналізувати психолого-педагогічні концепції, що слугують теоретичним підґрунтям для диференціації навчальних завдань з 3D-друку; охарактеризувати вікові та когнітивні особливості учнів різних освітніх

рівнів як основу для диференціації навчальних завдань; визначити критерії добору навчальних завдань з 3D-друку відповідно до вікових особливостей учнів; обґрунтувати рівні складності навчальних завдань з 3D-друку для різних вікових груп учнів закладів загальної середньої освіти.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні використано методи теоретичного аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення наукових джерел, а також елементи теоретичного моделювання для обґрунтування критеріїв диференціації навчальних завдань з 3D-друку та визначення рівнів їх складності відповідно до вікових особливостей учнів. Застосування зазначених методів дало змогу виявити психолого-педагогічні засади побудови диференційованої системи навчальних завдань і окреслити логіку переходу від репродуктивної до творчо-дослідницької діяльності учнів.

Теоретичним підґрунтям для обґрунтування диференціації навчальних завдань з 3D-друку на уроках технологій слугують три взаємопов’язані психолого-педагогічні концепції: теорія стадій когнітивного розвитку J. Piaget, концепція зони найближчого розвитку L. Vygotsky та теорія конструкціонізму S. Papert та I. Harel. Кожна з цих концепцій висвітлює окремий аспект проблеми відповідності навчальних завдань віковим можливостям учнів і в сукупності формує цілісну теоретичну основу для побудови диференційованої системи завдань з 3D-друку.

Теорія стадій когнітивного розвитку J. Piaget дає змогу визначити, якою мірою учні різного віку здатні до абстрактного проєктування, просторового моделювання та усвідомлення зв’язку між цифровою моделлю й матеріальним виробом. На стадії конкретних операцій дитина спирається переважно на наочність, конкретний предметний досвід та реальні дії з об’єктами, тоді як на стадії формальних операцій з’являється можливість мислити гіпотетично, оперувати абстрактними поняттями, будувати багатокрокові плани та передбачати результати змін параметрів моделі [7].

Застосування ідей J. Piaget до навчання з 3D-друку дає підстави стверджувати, що завдання, пов’язані з повністю самостійним тривимірним проєктуванням, оперуванням абстрактними просторовими образами та встановленням складних причинно-наслідкових зв’язків між параметрами цифрової моделі та властивостями фізичного об’єкта, є найбільш доступними для учнів, які досягли стадії формальних операцій. Водночас це не означає, що елементи 3D-друку не можуть бути впроваджені раніше: для учнів, які перебувають на стадії конкретних операцій або на перехідному етапі до формально-операційного мислення, доцільними є завдання з опорою на конкретні зразки, готові моделі, наочні інструкції та часткову педагогічну підтримку [6; 7]. Отже, теорія J. Piaget обґрунтовує не відмову від використання 3D-друку в молодших вікових групах основної школи, а необхідність принципового розмежування рівня складності, ступеня самостійності та характеру освітньої діяльності.

Концепція зони найближчого розвитку L. Vygotsky має безпосереднє значення для проєктування навчальних завдань з 3D-друку. Відповідно до цієї концепції, найбільш ефективними є такі завдання, які не збігаються з актуальним рівнем розвитку учня, але залишаються посильними за умови педагогічної підтримки або взаємодії з більш компетентним партнером [8]. У контексті навчання 3D-друку це означає, що завдання не повинні бути ні надто простими, ні надмірно складними. Перші не забезпечують розвитку, другі спричиняють фрустрацію, втрату мотивації та формальне виконання діяльності [4; 8]. Звідси випливає важливість педагогічного скафолдингу, тобто поступового зменшення обсягу допомоги в міру зростання самостійності учня. Крім того, положення Vygotsky про роль соціальної взаємодії в навчанні обґрунтовують доцільність організації групової та парної роботи під час виконання завдань з 3D-друку, особливо на етапах первинного входження учнів у новий для них вид діяльності.

Теорія конструкціонізму S. Papert та I. Harel є особливо релевантною для навчання з використанням 3D-друку. На відміну від загального конструктивістського підходу, конструкціонізм акцентує на тому, що найглибше засвоєння знань відбувається в процесі створення реального публічного артефакту – фізичного або цифрового об'єкта, який має особистісну значущість для учня та може бути представленим іншим [5]. Саме 3D-друк природно відповідає цій логіці, оскільки поєднує цифрове проєктування з матеріалізацією результату. Можливість побачити, випробувати й оцінити створений власноруч об'єкт посилює мотивацію, сприяє рефлексії та глибшому розумінню технологічних процесів [5; 6]. Водночас конструкціоністський підхід не скасовує вимоги вікової відповідності: складність артефактів, рівень самостійності їх створення та обсяг необхідних міжпредметних знань повинні бути адекватними реальним можливостям учнів.

Таким чином, зазначені теоретичні концепції взаємно доповнюють одна одну. Теорія J. Piaget дає змогу визначити межі когнітивної доступності різних типів завдань; концепція L. Vygotsky окреслює принцип добору завдань оптимального рівня складності та роль педагогічної підтримки; конструкціонізм S. Papert та I. Harel обґрунтовує навчальну цінність практичної діяльності зі створення реальних фізичних об'єктів [5; 6; 7; 8].

Ефективна диференціація навчальних завдань з 3D-друку неможлива без урахування вікових і когнітивних особливостей учнів. У межах цього дослідження розглядаються вікові групи учнів основної та старшої школи – від 5 до 11 класу. Учні початкової школи не включені до основної рамки аналізу, оскільки використання 3D-друку на цьому етапі, як правило, має пропедевтичний характер і потребує спеціально організованого, переважно ігрово-практичного методичного підходу [3]. Крім того, систематична робота з 3D-принтером передбачає дотримання вимог техніки безпеки,

певний рівень технічної відповідальності та готовність до послідовного виконання технологічних операцій, що робить таку діяльність більш доцільною починаючи з основної школи [4].

Учні 5–7 класів перебувають на перехідному етапі від конкретно-операційного до формально-операційного мислення [7]. Їхня здатність до абстрактного мислення ще не є стійкою, тому вони потребують опори на наочність, зразки, алгоритмізовані дії та чітко структуровані інструкції. Просторове мислення в цьому віці активно розвивається, що дає змогу працювати з простими тривимірними моделями в доступних цифрових середовищах, зокрема у візуально інтуїтивних програмах для початкового 3D-моделювання. Для цієї вікової групи доцільними є завдання, що передбачають ознайомлення з готовими моделями, їх аналіз, незначну модифікацію, добір елементарних параметрів друку та друк нескладних виробів за чітко визначеними умовами. У межах зони найближчого розвитку учні цього віку можуть виконувати не лише репродуктивні, а й окремі частково-пошукові завдання, однак за умови помітної педагогічної підтримки [2; 8]. Отже, для 5–7 класів 3D-друк має виступати передусім засобом керованого входження у сферу цифрового проєктування.

Для учнів 8–9 класів типовим є посилення ознак формально-операційного мислення, що виявляється у зростанні здатності до абстрактного мислення, самостійного планування дій, аналізу помилок та осмисленої роботи з цифровими моделями [7]. Для них характерний вищий рівень сформованості просторових уявлень, що дає змогу переходити від модифікації готових моделей до розроблення власних варіантів виробів у межах заданих умов. Учні цього віку здатні самостійніше працювати з параметрами 3D-друку, встановлювати зв’язок між геометрією моделі та якістю надрукованого виробу, а також оцінювати функціональність створеного об’єкта. Саме тому для них доцільними є частково-пошукові

завдання та окремі творчо-дослідницькі проєкти, пов'язані з розв'язанням реальних практичних проблем [4; 5].

Учні 10–11 класів характеризуються вищим рівнем сформованості формально-операційного мислення, достатньою здатністю до гіпотетико-дедуктивних міркувань, прогнозування результатів, самостійного планування багатокрокової діяльності та усвідомленого використання міжпредметних знань [7]. У контексті 3D-друку це відкриває можливості для організації повного циклу проєктної діяльності: від виявлення проблеми й формулювання задуму до цифрового моделювання, виготовлення прототипу, його тестування, аналізу недоліків і вдосконалення кінцевого результату. Для цієї вікової групи 3D-друк може виступати не лише як засіб навчання технологічним операціям, а й як інструмент міждисциплінарної проєктної та дослідницької діяльності, що має профільно орієнтований характер [1; 6].

Отже, вікові особливості учнів істотно впливають на характер і складність навчальних завдань з 3D-друку. Відмінності між віковими групами стосуються не лише рівня складності змісту, а й ступеня педагогічної підтримки, характеру практичної діяльності, рівня абстрактності проєктних завдань та способів організації взаємодії учнів [2; 3; 4; 8].

Спираючись на розглянуті теоретичні положення та вікові особливості учнів, визначено основні принципи побудови диференційованої системи навчальних завдань з 3D-друку: відповідності когнітивному розвитку, оптимального рівня складності, практичної значущості результату, міжпредметної інтегрованості та поступового розширення самостійності. Принцип відповідності когнітивному розвитку передбачає узгодження складності завдання з реальними можливостями учня щодо просторового уявлення, абстрактного мислення, планування та аналізу технологічного процесу [6; 7]. Принцип оптимального рівня складності, що випливає з

концепції зони найближчого розвитку, орієнтує на добір завдань, які потребують інтелектуального зусилля, але залишаються досяжними за відповідної педагогічної підтримки [4; 8]. Принцип практичної значущості результату означає, що кожне завдання з 3D-друку має завершуватися створенням фізичного об'єкта, який має реальну цінність або очевидну функцію для учня, групи чи шкільного середовища [5; 6]. Принцип міжпредметної інтегрованості полягає в поєднанні змісту технологічної діяльності зі знаннями з інших навчальних предметів [1; 6]. Принцип поступового розширення самостійності передбачає перехід від керованої діяльності до самостійного та творчо-дослідницького виконання проєктів.

На основі цих принципів можна визначити критерії добору навчальних завдань з 3D-друку для різних вікових груп учнів. До них належать: ступінь абстрактності завдання; рівень когнітивного навантаження; ступінь самостійності учня; рівень сформованості просторового мислення; практична значущість результату. Сукупність цих критеріїв дає змогу не лише добирати завдання відповідно до віку учнів, а й будувати логіку їх поступового ускладнення.

На цій основі доцільно виокремити три рівні складності навчальних завдань з 3D-друку. Репродуктивний рівень передбачає роботу з готовими моделями, їх завантаження, підготовку до друку, ознайомлення з базовими параметрами та аналіз отриманого результату. Частково-пошуковий рівень передбачає модифікацію існуючих моделей, вибір параметрів друку, пошук конструктивного рішення в межах заданих умов та обмежень. Творчо-дослідницький рівень пов'язаний із самостійним проєктуванням оригінальних об'єктів, проходженням повного циклу від задуму до виготовлення прототипу, аналізом функціональності виробу та його подальшим удосконаленням [4; 5; 6].

Співвідношення між віковими групами учнів, їхніми когнітивними

особливостями, ступенем самостійності та рівнями складності навчальних завдань відображено в таблиці 1.

Таблиця 1

Критерії добору та рівні складності завдань з 3D-друку

Вікова група	Когнітивні особливості	Ступінь самостійності	Рівень складності
5–7 кл.	початковий або середній рівень просторового мислення, перехід від конкретно-операційного до формально-операційного мислення, потреба в опорі на зразки та педагогічну підтримку	часткова самостійність за педагогічної підтримки	репродуктивний / частково-пошуковий
8–9 кл.	достатній рівень просторового мислення, посилення ознак формально-операційного мислення, здатність до виконання завдань середньої та підвищеної складності	переважно самостійна діяльність	частково-пошуковий / творчо-дослідницький
10–11 кл.	достатньо сформоване просторове мислення, розвинене формально-операційне мислення, здатність до виконання складних багатокомпонентних завдань	висока самостійність	творчо-дослідницький

Запропонована система критеріїв і рівнів складності може бути використана як теоретико-методологічна основа для подальшого проєктування практичних завдань і навчальних проєктів з 3D-друку для учнів різних вікових груп закладів загальної середньої освіти. Її практична цінність полягає в тому, що вона дає можливість уникнути як надмірного спрощення, так і невиправданого ускладнення освітньої діяльності, забезпечуючи більш обґрунтоване включення 3D-друку в систему технологічної освіти [1; 3; 6].

Висновки. У статті теоретично обґрунтовано засади диференціації

навчальних завдань з 3D-друку на уроках технологій у закладах загальної середньої освіти на основі аналізу класичних психолого-педагогічних концепцій і сучасних досліджень у галузі використання адитивних технологій в освіті.

З'ясовано, що теоретичним підґрунтям диференціації навчальних завдань з 3D-друку слугують три взаємопов'язані концепції. Теорія стадій когнітивного розвитку J. Piaget дає можливість визначити межі когнітивної доступності різних типів завдань залежно від віку учнів; концепція зони найближчого розвитку L. Vygotsky обґрунтовує необхідність добору завдань оптимального рівня складності та поступового зменшення педагогічної підтримки; теорія конструкціонізму S. Papert та I. Harel пояснює навчальну ефективність 3D-друку через створення учнями реальних фізичних артефактів як засобу побудови знань.

Установлено, що використання 3D-друку в освітньому процесі потребує вікової диференціації не лише за складністю завдань, а й за ступенем самостійності учнів, характером педагогічної підтримки, рівнем абстрактності проєктної діяльності та практичною значущістю створюваного продукту. У межах цього дослідження увагу зосереджено на учнях 5–11 класів, оскільки для початкової школи застосування 3D-друку має переважно пропедевтичний характер і потребує окремого спеціального методичного опрацювання.

Визначено основні принципи побудови диференційованої системи навчальних завдань з 3D-друку: відповідності когнітивному розвитку, оптимального рівня складності, практичної значущості результату, міжпредметної інтегрованості та поступового розширення самостійності. На цій основі сформульовано критерії добору завдань і обґрунтовано три рівні їх складності: репродуктивний, частково-пошуковий і творчо-дослідницький.

Теоретичний аналіз дає підстави вважати, що для учнів 5–7 класів доцільними є репродуктивні та частково-пошукові завдання з високим ступенем педагогічної підтримки; для учнів 8–9 класів – частково-пошукові та окремі творчо-дослідницькі завдання з переважно самостійною діяльністю; для учнів 10–11 класів – творчо-дослідницькі завдання, пов'язані з повним циклом проєктування, виготовлення й аналізу результатів.

Перспективи подальших досліджень убачаємо в розробленні та експериментальній перевірці системи практичних завдань і навчальних проєктів з 3D-друку для різних вікових груп учнів, а також у дослідженні ефективності запропонованих принципів диференціації в умовах змішаного й дистанційного навчання.

Література

1. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Тютюнник А. Впровадження STEAM навчання з використанням 3D технологій: моделювання, сканування та друк. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. 2016. № 2. С. 200–208. URL: https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/31 (дата звернення: 20.04.2026).

2. Coşkun T. K., Deniz G. F. The Contribution of 3D Computer Modelling Education to Twenty-First Century Skills: Self-assessment of Secondary School Students. International Journal of Technology and Design Education. 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10798-021-09660.

3. Fokides E., Lagopati G. The utilization of 3D printers by elementary-aged learners: a scoping review. Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice. 2024. Vol. 23. URL: http://www.jite.org/documents/Vol23/JITE-IIPv23Art006Fokides10213.pdf (дата звернення: 20.04.2026).

4. Novak E., Brannon M., Librea-Carden M. R., Haas A. L. A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. Journal of Computer Assisted Learning. 2021. Vol. 37, No. 5. P. 1455–1478. DOI: https://doi.org/10.1111/jcal.12585.

5. Papert S., Harel I. Situating Constructionism. In: Papert S., Harel I. (eds.). Constructionism: Research Reports and Essays, 1985–1990. Norwood, NJ : Ablex Publishing Corporation, 1991. P. 1–12.

6. Pearson H. A., Dubé A. K. 3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. Education and Information Technologies. 2022. Vol. 27, No. 3. P. 3647–3674. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7.

7. Piaget J. The Psychology of Intelligence. London : Routledge & Kegan Paul, 1950. 218 p.

8. Vygotsky L. S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA : Harvard University Press, 1978. 159 p.

References

1. Morze, N. V., Varchenko-Trotsenko, L. O., & Tiutiunnyk, A. (2016). Vprovadzhennia STEAM navchannia z vykorystanniam 3D tekhnolohii: modeliuvannia, skanuvannia ta druk. Vidkryte osvitnie e-seredovyshche suchasnoho universytetu, 2, 200–208. URL: https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/31 [in Ukrainian].

2. Coşkun, T. K., & Deniz, G. F. (2021). The Contribution of 3D Computer Modelling Education to Twenty-First Century Skills: Self-assessment of Secondary School Students. International Journal of Technology and Design Education. DOI: https://doi.org/10.1007/s10798-021-09660.

3. Fokides, E., & Lagopati, G. (2024). The utilization of 3D printers by

elementary-aged learners: A scoping review. Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice, 23. URL: http://www.jite.org/documents/Vol23/JITE-IIPv23Art006Fokides10213.pdf.

4. Novak, E., Brannon, M., Librea-Carden, M. R., & Haas, A. L. (2021). A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. Journal of Computer Assisted Learning, 37(5), 1455–1478. DOI: https://doi.org/10.1111/jcal.12585.

5. Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating Constructionism. In S. Papert & I. Harel (Eds.), Constructionism: Research Reports and Essays, 1985–1990 (pp. 1–12). Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.

6. Pearson, H. A., & Dubé, A. K. (2022). 3D printing as an educational technology: Theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. Education and Information Technologies, 27(3), 3647–3674. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7.

7. Piaget, J. (1950). The Psychology of Intelligence. London: Routledge & Kegan Paul.

8. Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Prus Bohdan, PhD Student, Department of Software Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7214-0949

Rakytyanska Hanna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5863-3730

TRANSFER LEARNING SOFTWARE SYSTEM FOR ROAD RISK ASSESSMENT BASED ON OBJECT AND HUMAN BEHAVIOURAL FEATURES

Abstract

This paper introduces a software system designed for transfer learning, specifically for evaluating road risks based on object and human behavioural features under the limited computational resources of edge devices. The relevance of this study stems from the fact that modern road scene analysis systems are primarily focused on object detection and scene understanding, yet they insufficiently account for the behavioural characteristics of traffic participants and the specifics of transferring behavioural risk representations into compact models for online deployment.

The aim of this work is to develop a transfer learning software system for real-time online assessment of road risks based on the integration of object-based and behavioural features. A road scene representation model is proposed, which includes spatial, trajectory, and behavioural characteristics, as well as a mathematical model for risk assessment within the Safe–Suspect–Unsafe classes.

A teacher–student transfer learning model with a behaviour-aware loss function is developed that, unlike traditional knowledge distillation approaches,

preserves risk-oriented behavioural knowledge. A software architecture integrating object detection, feature extraction, behavioural analysis, transfer learning and risk inference for online road risk monitoring is proposed.

Experimental results have shown that behavioural-aware transfer learning improves the accuracy of risk assessment, enhances the detection of critical scenarios, and ensures high consistency of predictions after knowledge distillation while maintaining suitability for deployment on resource-constrained platforms.

The proposed contribution consists in the combination of behavioural features, transfer learning, and risk-oriented scene reasoning within a unified software system for road risk assessment. The practical value of the results lies in the possibility of using the proposed approach in intelligent transportation systems and systems for monitoring hazardous road situations.

Keywords: transfer learning; road risk assessment; road scene analysis; behavioural features; knowledge distillation; edge computing; online monitoring.

1. Problem Statement

The development of intelligent transportation systems, autonomous driving, and decision support systems has driven active progress in methods for road scene analysis, critical situation detection, and road risk assessment [1–4]. Modern approaches are based on object detection, semantic segmentation, and scene understanding; however, object detection alone is insufficient for adequate risk assessment, as danger is determined not only by scene composition but also by spatial interactions, trajectory characteristics, and behavioural intentions of traffic participants [3–6].

Road scenarios become particularly challenging when risk emerges from potentially dangerous behavioural patterns, including conflicting manoeuvres, intentions to cross trajectories, or borderline situations between safe and critical states. Existing risk-oriented approaches are primarily focused either on object-

centric features or on rule-based reasoning, whereas the integrated use of object and human behavioural features within a unified software system remains insufficiently explored [6, 10– 13].

An additional challenge arises when implementing such systems on resource-constrained edge devices, where the use of complex teacher models is limited by inference latency and computational complexity [7–9, 17, 18]. In this context, the use of transfer learning and knowledge distillation to transfer structured risk knowledge into compact student models is promising; however, behavioural-aware knowledge distillation for road risk assessment tasks remains insufficiently explored. This defines the relevance of developing a transfer learning software system for road risk assessment based on object and human behavioural features for online monitoring on resource-constrained devices. In this study, we consider road risk assessment as a joint problem of behavioural scene understanding and transfer learning under edge constraints.

2. Analysis of recent research and publications

2.1. Existing Approaches to Road Scene Analysis and Risk Assessment

Modern approaches to road scene analysis can be conditionally divided into three groups: object-centric methods, behavioural approaches, and scene reasoning models.

The first group includes methods focused on object detection and scene understanding based on deep learning, specifically models of the YOLO family, semantic segmentation, and scene graph approaches [1–4, 16, 17]. Such approaches provide high-quality scene structure representation, but predominantly operate on low-level features and are not sufficiently adapted for direct road risk assessment.

The second group comprises approaches that utilise behavioural characteristics of traffic participants, including trajectory prediction, intention

modelling, and conflict-aware risk assessment [5, 6]. Their advantage lies in considering the potential evolution of hazardous situations; however, such methods often treat behaviour as a separate task rather than as a component of an integrated risk-oriented model.

A promising direction is scene reasoning and three-way decision approaches [10 – 13], which enable transitioning from the traditional model $Risk = f(O)$ to a more general model:

$$Risk = f(O, B) \quad (1)$$

where risk is defined as a function of object and behavioural features. However, a review of the literature shows that software systems which combine these components within a unified software architecture are limited in number.

2.2. Transfer Learning for Road Risk Assessment and Open Challenges

A separate direction of current research is associated with the use of transfer learning and knowledge distillation to transfer knowledge into compact models suitable for deployment on resource-constrained devices [7–10, 17, 18].

Current teacher–student approaches are primarily focused on transferring feature-level knowledge and preserving detection or segmentation accuracy, but insufficiently explore the transfer of risk-sensitive behavioural knowledge in road risk assessment tasks.

Despite significant advances in transfer learning and knowledge distillation approaches, most existing studies are oriented toward detection, classification, or semantic segmentation tasks, whereas the transfer of risk-sensitive behavioural knowledge in road risk assessment remains insufficiently explored. Of particular interest are prototype-guided and granular knowledge-based approaches [9–13], which create preconditions for combining transfer learning with risk-oriented reasoning and interpretable decision-making. However, in the known literature, issues related to the integration of behavioural features into teacher–student

architectures, preservation of knowledge consistency after distillation, and the construction of software systems for online road risk monitoring suitable for edge deployment remain insufficiently addressed.

Unsolved problems remain regarding the integration of object and behavioural features within a unified risk model, the transfer of behavioural risk knowledge in teacher–student architectures, and the construction of software systems for online road risk monitoring on resource-constrained devices.

These limitations define the scientific problem addressed in this work and determine the feasibility of developing a transfer learning software system for road risk assessment based on object and human behavioural features.

3. Purpose of the article

The purpose of the article is to develop a transfer learning software system for online road risk assessment based on object and human behavioural features for resource-constrained edge devices.

To achieve this purpose, the following tasks are addressed:

1. To develop a risk assessment model that integrates object-based and behavioural features for road scene analysis.

2. To propose a teacher–student transfer learning software architecture for preserving risk-oriented knowledge in compact models.

3. To validate the proposed approach experimentally in terms of risk prediction accuracy and online deployment efficiency.

4. Presentation of the main material of the study

4.1. Road Scene Representation Model

Let the input road scene be given by an image I*I*, after processing of which a set of detected objects is formed:

$$G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\} \quad (2)$$

Each object is described by a feature vector:

$$x_i = (v_i, d_i, t_i, b_i) \quad (3)$$

where v_i – detection confidence, d_i – estimated distance to the ego-vehicle, t_i – trajectory deviation characteristic, b_i – behavioural features.

Behavioural characteristics are defined as:

$$b_i = (m_i, c_i, s_i) \quad (4)$$

where m_i – motion tendency, c_i – trajectory conflict, s_i – speed behaviour.

The behavioural characteristics are computed from consecutive video frames as follows:

– motion tendency $m_i \in [0,1]$ is defined as the normalized angle of motion relative to the ego-vehicle heading

$$m_i = \frac{|\Theta_i|}{\pi} * \frac{v_i}{v_{max}} \quad (5)$$

where Θ_i is the angle between the object's velocity vector and the forward direction of the ego-vehicle, v_i is the object's speed (pixels/frame), and $v_{max} = 15$ pixels/frame corresponds to the maximum observed speed.

– trajectory conflict $c_i \in \{0,1\}$indicates whether the object's predicted path intersects with the ego-vehicle's path within a critical time window:

$$c_i = 1 \; if \; Time - to - Collision \; (TTC) < 2 \; sec, otherwise \; c_i = 0 \quad (6)$$

where $TTC = \frac{d_i}{v_{rel}}$ with d_i – Euclidean distance to ego-vehicle, v_{rel} – relative approach speed.

– speed behaviour $s_i \in [0,1]$ captures whether the object's speed is appropriate for the road context:

$$s_i = \min(1, \frac{v_i}{v_{limit}}) \quad (7)$$

where $v_{limit}$is the estimated speed limit in the lane region (default $v_{limit} = 10$ pixels/frame for urban scenes).

Thus, the road scene is represented by the structure:

$$S = \{G, X, B\} \quad (8)$$

which combines object and behavioural features.

4.2. Road Risk Assessment Model

Risk assessment is performed within a three-level decision scheme:

$$D = \{Safe, Suspect, Unsafe\} \quad (9)$$

and is defined by the mapping:

$$y = F(I, S) \quad (10)$$

To integrate spatial and behavioural characteristics, an integral risk indicator is introduced:

$$R = w_1 R_0 + w_2 R_b \quad (11)$$

where $w_1 + w_2 = 1$, and R_0 and R_b characterize the object-based and behavioural components of risk, respectively.

The risk class is determined by the rule:

$$y = \arg \max_j \mu_j(R) \quad (12)$$

where μ_j –are membership functions for the risk classes.

The proposed model implements the transition:

$$Risk = f(O) \rightarrow Risk = f(O, B) \quad (13)$$

which better accounts for the behavioural nature of hazardous road scenarios.

4.3. Transfer Learning for Risk Assessment

For knowledge transfer, a teacher–student architecture is used $T \rightarrow S$ where the teacher model transfers structured knowledge representations to a compact student model [7, 9, 14].

Training is performed by minimising the loss functional:

$$L = \alpha L_{det} + \beta L_{feat} + \gamma L_{beh} + \delta L_{risk} \quad (14)$$

where αL_{det} – detection loss, βL_{feat} – feature distillation loss, γL_{beh} – behavioural knowledge loss, δL_{risk} – risk consistency loss.

In contrast to classical knowledge distillation models [7-9, 14, 16], the introduction of the L_{beh} component ensures the preservation of behaviour-aware knowledge during model compression.

4.4. Software System Architecture

The proposed method is implemented as a software system:

$$S = M_d \circ M_f \circ M_b \circ M_t \circ M_r \quad (15)$$

where M_d – object detection, M_f – feature extraction, M_b – behavioural features analysis, M_t – transfer learning, M_r – risk inference.

The functional interaction of these modules forms a sequential processing pipeline of the road scene – from object detection and behavioural feature extraction to knowledge transfer and risk level assessment.

The architecture of the proposed software system and the information flows between its main modules are shown in Fig. 1.

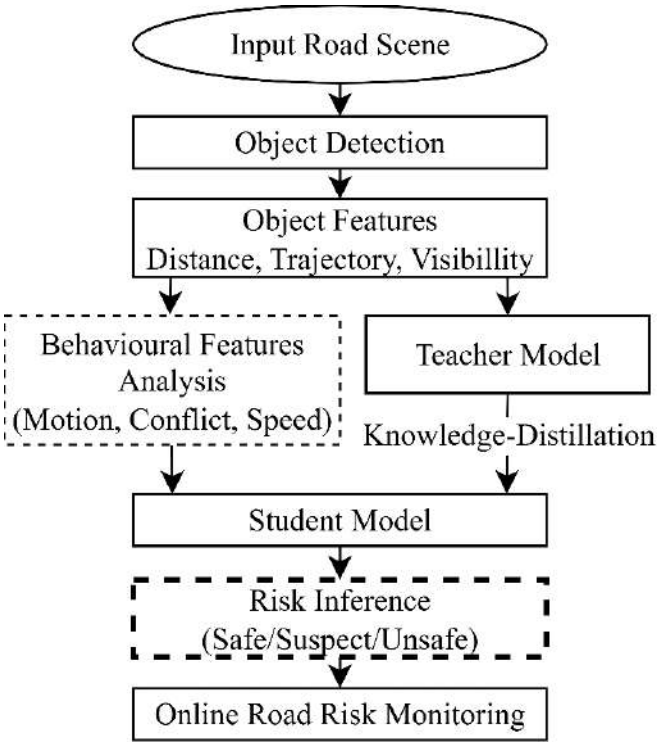


Figure 1. Architecture of the proposed transfer learning software system for online road risk assessment

As shown in Fig. 1, the proposed architecture combines modules for object and behavioural feature analysis with teacher–student knowledge distillation and a risk inference module, enabling online road risk monitoring on resource-constrained edge devices.

4.5. Risk Assessment Algorithm

Risk assessment is performed sequentially through object detection, behavioural feature extraction, knowledge transfer, integral risk calculation, and scene classification.

The algorithm is described by the composition:

$$A = A_1 \circ A_2 \circ A_3 \circ A_5 \circ A_5 \quad (16)$$

and has linear complexity with respect to the number of scene objects, ensuring suitability for real-time operation.

5. Experimental Results and Discussion

The aim of the experimental study is to evaluate the effectiveness of the proposed transfer learning software system for road risk assessment according to the criteria of risk prediction accuracy, speed, and knowledge transfer stability.

For experimental validation, road scenes from open datasets Cityscapes [19] and BDD100K [20] were used, containing scenarios of varying risk levels.

Assessment was performed for three risk classes:

$$D = \{Safe, Suspect, Unsafe\} \quad (17)$$

according to the proposed model.

For comparison, three variants were considered: $M_1 = T$ – teacher model; $M_2 = S$ – standard distilled student model; $M_3 = S^*$ – proposed behavioural-aware transfer learning model;

5.1. Evaluation Metrics

Risk assessment accuracy was evaluated using Accuracy and F1-score metrics:

$$A_{cc} = \frac{N_c}{N}, F_1 = \frac{2PR}{P+R} \quad (18)$$

where P and R denote precision and recall, respectively.

To evaluate the preservation of structured risk knowledge after knowledge distillation, the following indicator was used:

$$C_r = 1 - \frac{|R_T - R_S|}{R_T} \quad (19)$$

which characterizes the consistency of predictions between the teacher and student models.

5.2. Experimental Results

The results of the comparative study are presented in Table 1.

Table 1 – Comparison of road risk assessment models

Model	Accuracy	F1	Latency (ms)	Risk Consistency
Teacher	95.2	0.94	76	1.00
Student	91.8	0.90	31	0.87
Proposed	94.6	0.93	34	0.96

Analysis of the results shows that the traditional student model partially loses risk-sensitive knowledge after compression, which reduces the accuracy of assessing borderline and critical scenarios [7, 16].

The proposed behavioural-aware transfer learning approach significantly reduces these losses and brings the performance of the compact student model closer to that of the teacher solution while maintaining low inference latency.

This is particularly evident for scenarios of the Suspect and Unsafe classes, where the incorporation of behavioural features significantly improves the stability of risk prediction.

The results indicate the feasibility of transitioning from the traditional model $Risk = f(O)$ to the extended risk model $Risk = f(O, B)$, in which the behavioural characteristics of traffic participants constitute a significant source of information for risk assessment.

5.3. Discussion

The obtained results indicate that the proposed approach has advantages compared to classical object-centric and standard distillation models.

In contrast to traditional knowledge distillation approaches [7–9], the proposed method transfers not only feature-level knowledge but also behavioural risk representations through the L_{beh} component in the training loss functional.

This allows knowledge distillation to be interpreted not merely as model compression, but as the transfer of structured behavioural risk representations [10-12].

From an applied perspective, the results confirm the suitability of the software system for online deployment on resource-constrained edge devices.

However, the accuracy of behavioural features depends on the stability of trajectory estimation and object interaction scenarios, which defines the direction for future research.

6. Conclusions

In this work, a transfer learning software system for road risk assessment based on object and human behavioural features has been developed, aimed at online analysis of road scenes under limited computational resources.

Within the framework of the study, a road scene representation model combining object-based and behavioural features is proposed, as well as a mathematical risk assessment model based on the Safe–Suspect–Unsafe classes.

A teacher–student transfer learning model with a behaviour-aware loss function$L = \alpha L_{det} + \beta L_{feat} + \gamma L_{beh} + \delta L_{risk}$ has been developed, which, unlike traditional knowledge distillation approaches, ensures the transfer of risk-oriented behavioural knowledge.

A software system architecture and an online road risk monitoring algorithm for resource-constrained edge devices are proposed.

Experimental results demonstrate that the use of behavioural-aware transfer learning improves risk assessment accuracy, enhances the detection of critical scenarios, and ensures high consistency of predictions after knowledge distillation.

The results indicate the feasibility of using object and human behavioural features in software systems for road risk assessment and the promise of combining transfer learning with risk-oriented scene reasoning for intelligent transportation systems.

Future research should be directed toward the integration of prototype-oriented monitoring and reliability-aware transfer learning.

References

1. Awan, A. A., et al. (2025). Deep learning methods for scene understanding in autonomous driving: A review. Expert Systems with Applications, 254, 128098. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.128098

2. Jiao, X., et al. (2024). RS-YOLO for efficient road scene object detection. Digital Signal Processing, 154, 104889. DOI: 10.1016/j.dsp.2024.104889

3. Niu, Y., et al. (2024). Important object detection through driving scene relationship understanding. IEEE Access, 12. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3400589

4. Tian, Y., et al. (2023). Semantic relationships in urban traffic scenes. IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, 4. DOI: 10.1109/OJITS.2023.3260624

5. Fang, Z., et al. (2024). Behavioral intention prediction in driving scenarios: A survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. DOI: 10.1109/TITS.2024.3374342

6. Xie, H., et al. (2025). Human fuzzy semantic logic for driving risk analysis. Accident Analysis & Prevention, 197, 108037. DOI: 10.1016/j.aap.2025.108037

7. Guo, X., Zhou, W., & Liu, T. (2024). Contrastive learning-based knowledge distillation for urban scene segmentation. Knowledge-Based Systems, 292, 111588. DOI: 10.1016/j.knosys.2024.111588

8. Gao, Y., et al. (2025). Domain adaptation for semantic segmentation of road scenes. Neurocomputing, 613. DOI: 10.1016/j.neucom.2024.128744

9. Rakytyanska, H. (2023). Knowledge distillation in granular fuzzy models. In LNDECT. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-32095-8_4

10. Rakytyanska, H., & Prus, B. (2024). Constructing prototype-based granular fuzzy rules for scene classification on mobile devices. In LNDECT (Vol. 219, pp. 194–218). DOI: 10.1007/978-3-031-70959-3_10

11. Yao, Y. (2018). Three-way decision and granular computing. International Journal of Approximate Reasoning, 103, 107–123. DOI: 10.1016/j.ijar.2018.09.005

12. Pedrycz, W. (2018). Granular Computing. CRC Press. DOI: 10.1201/9781315216737

13. Angelov, P., & Gu, X. (2018). Deep rule-based classifier with human-level performance. Information Sciences, 463–464, 196–213. DOI: 10.1016/j.ins.2018.06.048

14. Hinton, G., Vinyals, O., & Dean, J. (2015). Distilling the knowledge in a neural network. arXiv:1503.02531. DOI: 10.48550/arXiv.1503.02531

15. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In CVPR (pp. 779–788). DOI: 10.1109/CVPR.2016.91

16. Gou, J., et al. (2021). Knowledge distillation: A survey. International Journal of Computer Vision, 129(6), 1789–1819. DOI: 10.1007/s11263-021-01453-z

17. Mazhar, S., et al. (2023). Lightweight semantic segmentation for resource-constrained devices. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 126, 107086. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.107086

18. Ma, S., et al. (2024). Weakly supervised object localization via knowledge distillation. Neurocomputing, 576, 127213. DOI: 10.1016/j.neucom.2023.127213

19. Cordts, M., et al. (2016). The Cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. In CVPR (pp. 3213–3223). DOI: 10.1109/CVPR.2016.350

20. Yu, F., et al. (2020). BDD100K: A diverse driving dataset. In CVPR (pp. 2636–2645). DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00271

Taranenko Iryna, Doctor of Science (Economics), professor, professor of the Department of International Marketing, Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2697-786X

Strelchenko Inna, Doctor of Science (Economics), associate professor, professor of the Department of International Marketing, Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5179-4304

Sokolova Viktoriia, PhD (Public Administration), Vice-Rector for Research and International Activities, Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1162-2396

INTEGRATION WITHOUT MIGRATION: THE ROLE OF EUROPEAN-ORIENTED EDUCATION AND COMMUNICATION NARRATIVES IN YOUTH RETENTION IN UKRAINE

Abstract

The article investigates the role of European-oriented education and communication narratives as mechanisms of youth retention in Ukraine under conditions of socio-economic instability, war-related uncertainty, and increasing educational migration. The study is based on the results of a survey conducted among participants of the educational module “European Strategies,” implemented within the Erasmus+ Jean Monnet project “EU Strategies for Competitiveness, Growth and Prosperity” (EUSTRAT) at Alfred Nobel University during 2022–2025.

The research aims to identify key communication triggers influencing educational and migration-related decision-making among young people and to determine how European-oriented educational programs contribute to reducing migration intentions. The methodological framework combines quantitative and

qualitative approaches, including statistical analysis of survey responses and interpretation of open-ended answers.

The findings demonstrate that contemporary education performs functions that extend beyond knowledge transfer and increasingly acts as a mechanism shaping behavioral intentions, trust, identity, and perceptions of future opportunities. The study identifies the most influential communication triggers affecting educational choice, including narratives of the digital future, European integration, and Ukraine's recovery through the implementation of European experience. In particular, the highest level of interest among respondents was related to topics of digital transformation of business and society, EU development strategies, post-war recovery of Ukraine, and European integration processes.

The article argues that European-oriented educational programs contribute to the formation of a model of "integration without migration," under which students gain access to European values, competencies, and educational standards while remaining in Ukraine. The results indicate that universities increasingly function not only as educational institutions but also as communication platforms and social stabilizers that reduce uncertainty, strengthen trust, and create perceptions of future self-realization within the country.

The practical significance of the study lies in the possibility of applying its findings to the development of communication strategies for higher education institutions aimed at increasing the attractiveness of education in Ukraine, strengthening youth engagement, and reducing migration intentions. Particular attention is devoted to the role of Erasmus+ Jean Monnet projects in supporting "internationalization at home" and promoting European-oriented educational narratives.

Keywords: youth retention; educational migration; European-oriented education; communication narratives; higher education; digital transformation; Erasmus+ Jean Monnet Module

Problem statement

In the context of prolonged socio-economic instability, large-scale migration processes, and the consequences of the full-scale war, the issue of youth retention in Ukraine has become strategically important for both the national higher education system and the long-term socio-economic development of the country. Educational migration, traditionally associated with globalization and international academic mobility, is increasingly influenced by security concerns, uncertainty about the future, and perceptions of career opportunities and quality of life. Under such conditions, young people's educational choices are closely interconnected with decisions regarding remaining in Ukraine or seeking opportunities abroad.

At the same time, modern universities are gradually transforming from institutions focused exclusively on knowledge transfer into environments that shape behavioral intentions, value orientations, trust, and perceptions of future prospects. In this context, higher education can be considered not only as a factor of human capital development but also as a mechanism of youth retention capable of reducing migration push factors.

Particular importance is attached to European-oriented educational programs that integrate EU-related content, digital transformation topics, and narratives of Ukraine's recovery and future development. Such programs create opportunities for "integration without migration," enabling young people to become involved in the European educational and value space while remaining in Ukraine.

At the same time, the communication dimension of education remains insufficiently explored. Contemporary educational programs increasingly function as platforms for transmitting narratives and meanings that influence young people's perceptions of opportunities, belonging, and self-realization. However,

the role of communication triggers and European-oriented narratives in shaping migration-related educational decisions and youth retention in Ukraine still requires further research.

Purpose of the article

The purpose of the article is to investigate the role of European-oriented education and communication narratives as mechanisms of youth retention in Ukraine, as well as to identify the key communication triggers influencing educational and migration-related decisions among young people.

Analysis of recent research and publications

The issue of educational migration and youth retention has become an increasingly important topic in contemporary academic discourse, particularly in the context of globalization, internationalization of higher education, and intensifying competition for human capital. Classical migration theories explain migration decisions through the interaction of push and pull factors. In particular, Everett S. Lee emphasized that migration intentions are shaped by economic, social, and environmental conditions influencing individual decision-making [1]. In contemporary conditions, education is increasingly considered one of the key determinants of migration behavior among young people.

The human capital approach developed by Gary Becker interprets education as an investment that increases future economic opportunities and professional competitiveness [2]. This perspective has been further expanded in studies on international student mobility, which demonstrate that educational migration is often associated with expectations of better career prospects and social mobility [3].

At the same time, recent studies increasingly emphasize the broader social role of higher education. Simon Marginson argues that universities perform not only economic but also social and stabilizing functions by shaping identity, trust, and perceptions of future opportunities [4]. Similar approaches are reflected in

studies on “internationalization at home,” which suggest that universities can provide access to international and European educational experiences without requiring physical mobility [5].

An important theoretical contribution to understanding behavioral intentions is provided by narrative approaches. Robert J. Shiller introduced the concept of narrative economics, according to which ideas, stories, and communication narratives significantly influence individual expectations and decision-making processes [6]. In the educational context, this means that universities increasingly act as communication platforms transmitting narratives about the future, professional success, and social belonging.

Despite the growing body of research on educational migration and internationalization, the role of European-oriented educational programs and communication narratives as mechanisms of youth retention in Ukraine remains insufficiently explored. In particular, limited attention has been paid to the concept of “integration without migration,” under which education creates opportunities for involvement in the European educational and value space while remaining in the home country.

Presentation of the main material of the study

The empirical basis of the study is formed by the results of a survey conducted among participants of the educational module “European Strategies,” implemented within the Erasmus+ Jean Monnet project “EU Strategies for Competitiveness, Growth and Prosperity” (EUSTRAT) at Alfred Nobel University during 2022–2025. The project was aimed at developing participants’ understanding of European development strategies, digital transformation, European integration processes, and the role of EU experience in Ukraine’s development and recovery. More than 250 participants completed the program, which allows the project to be considered a relevant empirical basis for analyzing the role of education in shaping youth behavioral orientations.

The methodological framework of the research combines quantitative and qualitative approaches. Quantitative analysis made it possible to identify the structure of participants' interests and evaluate changes in awareness after completing the course. Qualitative analysis of open-ended responses allowed for the identification of deeper motivational patterns related to educational choices, perceptions of the future, trust in institutions, and migration-related intentions.

The interpretation of the results is based on the human capital theory [2], migration decision and basic push–pull theory [1], and contemporary approaches to educational mobility and the role of universities in fostering social stability [4; 5].

The obtained results demonstrate that contemporary education performs functions that extend far beyond knowledge transfer. In conditions of uncertainty and intensified migration processes, educational programs increasingly shape behavioral intentions, perceptions of opportunities, and future-oriented expectations. In this context, education can be interpreted as a mechanism of youth retention capable of reducing migration push factors and strengthening young people's willingness to build their future in Ukraine.

One of the key findings of the study is the high level of positive perception of the educational experience. In particular, 92,3% of respondents evaluated the course as interesting and useful, while the overwhelming majority positively assessed the teaching methods and the practical relevance of the acquired knowledge. These results indicate not only the effectiveness of the educational process but also the formation of trust in the university as an institution.

Under contemporary conditions, trust becomes one of the key determinants of behavioral intentions [7]. Young people's decisions regarding education and migration are increasingly influenced not only by economic considerations but also by perceptions of institutional reliability, predictability, and future stability. In this regard, universities begin to perform the function of social stabilizers that

provide students with a sense of belonging, support, and confidence in future opportunities.

The findings also demonstrate that the content of educational programs plays a decisive role in shaping educational motivation. The analysis of respondents' interests revealed that the highest level of engagement was generated by topics related to digital transformation and European integration. In particular, 76,9% of respondents identified the topic of digital transformation of business and society as the most interesting. In addition, 69,2% expressed interest in the application of EU experience for Ukraine's recovery, 61,5% were interested in EU development strategies, and 53,8% in Ukraine's integration into the European Union.

These results indicate that young people are strongly oriented toward narratives associated with technological modernization, European development models, and future-oriented transformation processes. The narrative of the digital future is particularly significant because digital competencies are increasingly perceived as a prerequisite for professional competitiveness and long-term employability [8]. In the context of rapid technological change, education associated with digital transformation creates a perception of professional stability and future career opportunities within the country.

At the same time, the narrative of Ukraine's recovery through European experience performs an important emotional and value-based function. It creates a sense of involvement in national transformation processes and strengthens young people's perception that they can contribute to the country's future development. This significantly changes the logic of educational motivation. Education is no longer perceived exclusively as a pathway to migration but increasingly becomes associated with opportunities for self-realization within Ukraine.

The European integration narrative also plays a crucial role. Importantly, the study demonstrates that European-oriented educational content does not

necessarily stimulate migration intentions. On the contrary, respondents perceive European integration primarily as a model of development that can be implemented within Ukraine itself. The desire expressed by respondents to "be part of the European community without losing Ukrainian identity" reflects the emergence of a new model of educational motivation based on combining local and global dimensions. Such an approach is consistent with the concepts of glocalization and transnational identity [9; 10].

This finding allows education to be interpreted through the concept of "integration without migration." In this model, young people gain access to European values, knowledge, and educational standards while remaining in their home country. Such an approach corresponds to contemporary concepts of "internationalization at home," according to which universities create opportunities for international integration without requiring physical mobility.

An important result of the study is the significant increase in respondents' awareness after completing the course. The proportion of participants with a high level of awareness about the EU increased from 30,8% to 61,5%, while the share of respondents with low awareness decreased substantially. Similar trends were identified regarding understanding of digital transformation and European development strategies.

This increase in awareness indicates not only the effectiveness of the educational process but also the broader social role of education in reducing uncertainty. In psychological and behavioral research, this phenomenon is interpreted as a reduction of uncertainty and an increase in self-efficacy, which directly influences strategic life decisions [11]. Contemporary studies confirm that young people's decisions to migrate or remain in their home country are shaped by a complex set of push and pull factors, among which education plays an increasingly important role [12; 13]. In conditions of instability and crisis,

uncertainty about future opportunities becomes one of the strongest migration push factors.

Educational programs that provide students with a clearer understanding of professional opportunities, development strategies, and European integration processes contribute to the formation of a stronger sense of control over the future.

In this context, education functions not merely as a system of knowledge acquisition but as a mechanism for shaping future-oriented expectations. It contributes to the development of self-efficacy, confidence, and long-term planning capacity. Consequently, educational programs become instruments capable of influencing migration-related behavioral intentions.

The analysis of open-ended responses additionally revealed the importance of emotional and value-based dimensions of educational experience. Respondents frequently emphasized the practical relevance of the course, the professionalism of instructors, and the importance of understanding European development processes. At the same time, many participants associated European-oriented education with opportunities for personal development, social belonging, and professional realization in Ukraine.

These findings demonstrate that educational communication increasingly performs a strategic function. Universities no longer compete solely through educational quality in the traditional sense. They also compete through meanings, narratives, and representations of the future. Communication narratives related to digital transformation, European integration, innovation, and Ukraine’s recovery become important instruments influencing how young people perceive their future prospects within the country.

Therefore, universities should be considered not only educational institutions but also communication platforms shaping behavioral intentions and social expectations. Through European-oriented educational content, participation in international projects, and integration into global academic networks,

universities create symbolic bridges between Ukraine and the European educational space.

Particularly important in this context is the role of Erasmus+ Jean Monnet projects. Such initiatives create opportunities for integrating European content into the educational process and contribute to the formation of "internationalization at home." They allow students to feel involved in the European educational and value space without physical migration, thereby reducing the perception that international mobility is the only pathway to professional success and self-realization.

Thus, education begins to perform the function of integration without migration. It enables students to acquire knowledge, skills, and values associated with the European educational space without leaving Ukraine. This fundamentally changes the logic of educational mobility, transforming it from physical movement into symbolic and intellectual integration [14].

The findings of the study make it possible to identify several interconnected mechanisms through which education contributes to youth retention in Ukraine. The cognitive mechanism is associated with increased awareness and understanding of development opportunities. The emotional mechanism is reflected in the formation of trust and a sense of belonging. The value-based mechanism relates to the development of identities combining Ukrainian and European dimensions. Finally, the behavioral mechanism manifests itself in the transformation of migration-related intentions and the strengthening of willingness to pursue education and professional realization within Ukraine.

Thus, European-oriented educational programs create a multidimensional retention effect that combines rational, emotional, and value-based components. It is precisely this complexity that determines their effectiveness in shaping educational choices and reducing migration intentions among young people.

Conclusions

The study confirms that European-oriented education can function as an effective mechanism of youth retention in Ukraine under conditions of socio-economic instability, war-related uncertainty, and increasing educational migration. The findings demonstrate that educational choices are significantly influenced not only by the quality of educational services but also by communication narratives shaping perceptions of the future, opportunities for self-realization, and social belonging.

The most influential communication triggers identified in the study are narratives related to the digital future, European integration, and Ukraine's recovery. Their interaction forms a multidimensional motivational framework combining rational, emotional, and value-based components. This creates conditions under which education is perceived not as a pathway to migration, but as a mechanism of "integration without migration."

The research also demonstrates that universities increasingly perform the role of communication platforms and social stabilizers that shape trust, reduce uncertainty, and strengthen young people's confidence in future opportunities within Ukraine. In this context, Erasmus+ Jean Monnet projects play an important role by integrating European content into the educational environment and supporting the development of "internationalization at home."

The practical significance of the study lies in the possibility of applying its findings to the development of communication strategies for higher education institutions aimed at strengthening youth engagement and reducing migration intentions in Ukraine.

References

1. Lee, E. S. (1966). A theory of migration. *Demography*, 3(1), 47–57.

2. Becker, G. S. (1993). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education* (3rd ed.). Chicago: University of Chicago Press.

3. Brooks, R., & Waters, J. (2011). *Student Mobilities, Migration and the Internationalization of Higher Education*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

4. Marginson, S. (2016). The worldwide trend to high participation higher education: Dynamics of social stratification in inclusive systems. *Higher Education*, 72(4), 413–434. DOI: https://doi.org/10.1007/s10734-016-0016-x

5. De Wit, N. (2020). Internationalization of higher education: the need for a more ethical and qualitative approach. *Journal of International Students*, 10(1), i–iv. DOI: https://doi.org/10.32674/jis.v10i1.1893

6. Shiller, R. J. (2017). Narrative economics. *American Economic Review*, 107(4), 967–1004. DOI: https://doi.org/10.1257/aer.107.4.967

7. Giddens, A. (1990). *The Consequences of Modernity*. Cambridge: Polity Press.

8. World Bank. (2019). *World Development Report 2019: The Changing Nature of Work*. Washington, DC: World Bank.

9. Robertson, R. (1995). Glocalization: Time-space and homogeneity-heterogeneity. In *Global Modernities* (pp. 25–44). London: Sage.

10. Vertovec, S. (2009). *Transnationalism*. London: Routledge.

11. Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: W.H. Freeman.

12. Altbach, Ph. G. & Knight, J. (2007). The internationalization of higher education: Motivations and realities. *Journal of Studies in International Education*, 11(3–4), 290–305. DOI: https://doi.org/10.1177/1028315307303542

13. Beine, M., Docquier, F., & Rapoport, H. (2008). Brain drain and human capital formation in developing countries: Winners and losers. *The Economic Journal*, 118(528), 631–652. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2008.02135.x

14. Teichler, U. (2017). Internationalisation trends in higher education and the changing role of international student mobility. *Journal of International Mobility*, 1(5), 177–216. DOI: https://doi.org/10.3917/jim.005.0179

Zhytnik Tetiana, Doctor of Education in Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Preschool Education and Social Work, Bogdan Khmelnitsky Melitopol State Pedagogical University, Melitopol, Zaporizhzhia region, Ukraine, ORCID: 0000-0003-2250-7251

EPISTEMIC RECONFIGURATION AND APPROACHES TO LEARNING: A MENTAL-EMPATHIC APPROACH IN PRESCHOOL AND ART EDUCATION

Abstract

The article provides a fundamental analysis of the processes of epistemic reconfiguration in contemporary preschool and art education. The transition from an instructive to a socio-constructivist paradigm of learning is examined. Particular attention is paid to the phenomena of epistemic trust and mentalization as foundational elements in shaping the worldview of preschool children under conditions of global uncertainty. The role of art in constructing value orientations and facilitating the social adaptation of learners is also considered.

Keywords: epistemic trust, mental-empathic approach, preschool education, art education.

Problem Statement. The relevance of the study is обусловлена profound transformations in the system of social relations, which inevitably lead to a crisis of traditional educational models. In the 21st century, education ceases to be a process of transmitting static knowledge and instead becomes a space for constructing meanings. This issue is particularly acute in the fields of preschool and art education, where the object of influence is the emotional and sensory sphere of the child. The need to develop new methodological support that meets

the demands of modern children requires scholars and practitioners to seek innovative epistemological approaches.

The current stage of civilization is characterized by a state of «liquid modernity», in which global transformations of social relations outpace the ability of educational institutions to adapt. The traditional educational model, built on the principles of stability, hierarchy, and the reproductive transmission of knowledge, has exhausted its potential. In the context of the digital revolution and free access to information, knowledge is no longer a scarce resource, and the teacher loses the role of the sole transmitter of truth. Social transformations impose new requirements on the individual: flexibility, critical thinking, and the ability to empathize become more important than the mechanical accumulation of facts.

Therefore, the need for epistemic reconfiguration becomes актуальною – that is, a systemic reconsideration of the nature of knowledge, the ways of acquiring sociocultural experience, and the ethical foundations of interaction between subjects of the educational process. This is especially critical, on the one hand, for preschool education, which involves children who are highly sensitive to external influences and suggestion from adults, and, on the other hand, for art education, which directly affects the emotional and sensory apparatus of the individual. Reconfiguration implies a shift from “subject-based” to «meaning-based» learning, where art becomes a mediator in the child’s understanding of a complex surrounding world.

Purpose of the article. The aim of the study is to analyze and conceptualize the interrelation between epistemic trust, mentalization, and emotional experience as a foundation for contemporary approaches to learning, as well as to substantiate the possibilities of their integration into the educational process of preschool and art education.

Analysis of recent research and publications. Contemporary scientific approaches to child personality development increasingly emphasize the role of interpersonal relationships, emotional regulation, and cognitive-affective mechanisms that ensure the effectiveness of learning. In this context, the concepts of attachment, mentalization, and epistemic trust acquire particular significance.

Studies examining the relationship between the quality of child–adult interactions and the child's psycho-emotional state demonstrate that a supportive educational environment contributes to reduced stress levels and improved self-regulation. In particular, it has been established that a positive classroom climate and teacher sensitivity to the child's needs directly influence the child's ability for emotional stabilization and learning activity (Ahnert et al., 2012). In turn, the quality of close relationships serves as an important resource for self-regulation and goal attainment, confirming the significance of the emotional context in learning (Hofmann et al., 2015).

Attachment theory is fundamental for understanding processes of emotional regulation. As noted by J. Cassidy (1994), early relational experiences shape a child's ability to recognize and regulate their own emotions. These ideas are further developed within the theory of mentalization, which emphasizes the importance of the ability to understand mental states – one's own and those of others – as a basis for social cognition and interaction.

A central place in contemporary research is occupied by the concept of epistemic trust, understood as an individual's capacity to perceive information from others as reliable, relevant, and personally meaningful. P. Fonagy and E. Allison (2014) argue that the development of mentalization and epistemic trust constitutes a key condition for effective interaction in both educational and therapeutic settings. Further studies confirm that epistemic trust is associated with learning approaches, motivation, and the ability to acquire new experiences (Karagiannopoulou et al., 2026).

Considerable attention is also paid to the practical aspects of developing mentalization capacities in parents and educators. In particular, psychoeducational and parent-support programs focused on enhancing mentalization demonstrate a positive impact on interactions with children, especially in cases involving neurodevelopmental and behavioral difficulties (Chelouche-Dwek & Fonagy, 2026). Similar findings have been reported in studies on child maltreatment prevention programs, where the development of parental mentalization competence contributes to improved parenting quality and risk reduction (Gervinskaitė-Paulaitienė et al., 2023).

Thus, the analysis of scientific sources indicates that the integration of the mentalization-based approach, the development of the emotional sphere, and the formation of epistemic trust create a foundation for new educational strategies. These ideas are particularly relevant in preschool and art education, where interaction, emotional experience, and creativity serve as key factors in the development of the child's.

Presentation of the main material of the study. In the contemporary educational landscape, marked by a global crisis of social institutions, the phenomenon of epistemic trust emerges as one of the most critical factors for learning success. Epistemic trust is the fundamental human capacity to perceive information from another (a teacher, a parent) as reliable, personally significant, and relevant to one's own life. According to Peter Fonagy's concept, epistemic trust is defined as «the basic readiness of an individual to accept new information from another as having personal value and being credible» (Fonagy & Allison, 2014).

An older preschooler, upon entering the educational environment, often exhibits a high level of «epistemic vigilance» - a natural cognitive defense against irrelevant or potentially misleading information. Overcoming this barrier is possible only through the implementation of the principles of the «pedagogy of

kindness». This involves creating an atmosphere of psychological safety where the educator acts not as a controller of knowledge but as an authentic guide into the world of culture.

Within the scope of our research, which encompasses the fields of preschool and arts education, epistemic trust is established through the mechanism of validation of feelings. When an educator refrains from authoritarian judgments regarding the «correctness» of a child's perception of a work of art and instead takes a sincere interest in their emotional response, they signal the significance of the child's subjective world. This unlocks the mechanisms for internalizing complex cultural codes. Thus, trust becomes an epistemic bridge: the child «opens up» because they feel that their own perspective is accepted as valid and entitled to exist, even if it differs from other viewpoints.

Regarding the epistemic reconfiguration of arts education, particularly for children of preschool and primary school age, it cannot be viewed merely as a narrow pedagogical phenomenon; it is, first and foremost, a philosophical paradigm shift in the perception of child development. Traditional didactics were dominated by an «object-oriented» model, where the child was viewed as a recipient expected to master a specific set of techniques and art historical facts. However, modern conditions necessitate a transition to a socio-constructivist approach, where knowledge of art is born directly at the moment of the encounter between the subject (the child) and the artistic object.

Reconfiguration entails a radical change of «optics»: we shift from prioritizing the artistic product to prioritizing the internal transformation of the personality.

Epistemic reconfiguration legitimizes the child's right to subjectivity. In this model, knowledge is not viewed as «correct» or «incorrect» from the standpoint of academic pedagogy; rather, it is epistemically significant for the child if it assists them in structuring their own experience. Thus, reconfiguration ensures the

integrity of the cognitive experience, where art acts as a mediator between the child's inner world and external social reality. This is a path toward the formation of agency (subjectivity), where the child does not simply study art but learns to live within it.

Epistemic reconfiguration is not a mere change in curricula or an update of the list of artists to be studied. It is a fundamental shift in the «optics» through which we view child development. It is based on a socio-constructivist approach, wherein the child does not simply «consume» culture but actively constructs their own picture of the world through interaction with the artistic object and the educator. The focus shifts from the artistic result (a drawing or a craft) to the internal process of personality transformation under the influence of aesthetic experience.

In the context of global transformations, education must shift its focus from the question of «what to teach» to «how we internalize what we perceive». This involves a transition to a humanistic paradigm, where the educational program is developed taking into account the socio-economic characteristics of the region, the children's interests, and the family's requests. Such an approach allows for the creation of educational components based on the free choice of the learners, which is key to fostering the child's agency. Reconfiguration also requires the integration of various art forms, enabling the child to gain a holistic rather than fragmentary experience of cognition. If an art school fails to create conditions for the emergence of epistemic trust among the participants of the educational process, the learning process remains at the level of formal technical transmission. Epistemic reconfiguration – specifically within an art school – is the creation of a flexible, human-centered environment where the integration of different arts ensures the integrity of cognition. It legitimizes the teacher’s right to creative autonomy and the child's right to subjectivity in the process of artistic and aesthetic development.

Consequently, the epistemic reconfiguration of arts education fundamentally transforms the role of the educator. In the traditional system, the teacher acted as a carrier and transmitter of «absolute knowledge», creating a hierarchical distance and often provoking epistemic vigilance in the learners. The modern paradigm presented in this study requires a transition to the model of the teacher-facilitator and mentor. Regarding this, research by Hofmann, Finkel, and Fitzsimons suggests: «temporarily boosting relationship satisfaction may be functional for daily goal pursuit via a combination of cognitive and affective mechanisms, thus further integrating relationship research with socio-cognitive research on goal pursuit» (Hofmann, Finkel & Fitzsimons, 2015, p. 434).

This transformation is based on the principles of psychological and pedagogical support, where the teacher's primary task is not instruction but the creation of conditions for the child's own cognitive act to occur. The teacher-facilitator must possess skills in empathetic listening and mentalization. They are capable of «reading» the child's emotional states during their contact with a visual image and delicately guiding the process of reflection without imposing ready-made interpretative templates. The teacher's new role must encompass:

1. Flexibility of pedagogical design: the ability to adapt the content of the lessons "here and now," responding to the interests and psychophysical state of the child.

2. Stimulation of agency: encouraging the child to independently choose artistic tools and methods of expressing their feelings.

3. Dialogicity: structuring lessons as a «meeting of two consciousnesses», where the adult's experience and the child's experience are valued equally within the space of aesthetic experience.

Such subject-to-subject interaction ensures a transition from authoritarian pedagogy to the pedagogy of partnership. The teacher becomes a «significant adult» whose authenticity and openness serve as the primary tools for overcoming

epistemic alienation, which is critical for forming a resilient personality in the face of global transformations: «links between classroom participants and positive relationships provided information about the essential environmental conditions for students' stress. Students in unsupportive versus supportive classrooms had more level cortisol profiles, suggesting that low-quality classrooms impeded sufficient cortisol decreases at both the beginning and end of the week. Moreover, students with conflictual teacher relationships were less able to properly down-regulate stress than students with proximally balanced relationships showing the most optimal cortisol profiles» (Ahnert, Harwardt-Heinecke, Kappler, Eckstein-Madry, & Milatz, 2012, p. 249).

If epistemic trust opens the path to knowledge, then mentalization serves as the direct tool for processing this knowledge. *Mentalization* is defined as the capacity to perceive and interpret behavior (one's own and that of others) through the prism of mental states – intentions, feelings, beliefs, and desires. Gervinskaitė-Paulaitienė L., Byrne G. and Barkauskienė R. conducted pedagogical research based on the «Lighthouse» parenting program, with the following results: «Several mentalization-based group programs have shown promising results for parents facing difficulties in parent-child relationships. Results from 101 participants showed significant improvement in mentalization, parental adaptation, and family functioning, as well as a decrease in coercive parenting practices. The program emphasized curiosity toward the child's mind and a readiness to reflect on one's own feelings, thoughts, and behavior – core principles of mentalization-based work» (Gervinskaitė-Paulaitienė, Byrne, & Barkauskienė, 2023). Later studies by Chelouche-Dwek G. confirmed this hypothesis: «Psychoeducation, a practice based on mentalization and supporting the child's personality, is associated with a significant improvement in the reflective functioning of relationships and self-efficacy. Parental accounts of transformed relational practices and transitions from reactive to reflective interaction resonate with a broader literature demonstrating

that mentalization-oriented group programs can improve reflective abilities and the quality of care in various family contexts» (Chelouche-Dwek & Fonagy, 2026, p. 431).

A work of visual art acts as an «external container» for complex emotions. When contemplating a work of art, a child encounters intensive coloristic solutions that provoke an immediate emotional resonance. The process of mentalization here unfolds in two dimensions:

1. *Intrapsychic mentalization:* the child learns to identify their own reaction («What state does this color evoke in me? Why do I feel anxiety or elation?»). This promotes the development of emotional intelligence and self-regulation skills.

2. *Intersubjective mentalization:* through the educator's questions, the child attempts to «decode» the author's intention («What was the artist thinking when choosing these colors? What did they want to tell us about this sunset?»).

Such practice of «mind reading» through a visual image allows the child to transcend egocentrism. This approach stimulates «operating with knowledge in the process of engaging with works of art», which transforms art historical knowledge from abstract information into a living tool for social adaptation. A child who has learned to understand the «language of feelings» on canvas becomes more sensitive to the emotional states of people in real life, which is a fundamental outcome of artistic and aesthetic development in a transformed society.

A child's development in arts education is impossible without mentalization – the ability to perceive and interpret one's own and others' mental states (thoughts, feelings, intentions). Art here serves as an ideal trainer. By contemplating a work of art, the child learns to recognize the emotional state of the author or character, which is the first step toward developing empathy.

The ultimate goal of artistic and aesthetic development, according to our concept, is not merely the accumulation of knowledge about art, but the formation

of a holistic emotional-value-based attitude toward the surrounding world. In this context, visual art acts as a powerful tool for life-creation.

The process of forming value orientations begins with an emotional resonance to a work of art but does not end there. Through art, the child learns to transfer aesthetic categories (harmony, light, color, rhythm) into the plane of their own daily experience. Successful reconfiguration allows the child to:

1. *Operate with knowledge in real-life contexts:* using the language of art to describe their own states and understand the behavior of others.

2. *Develop an «ecology of feelings»:* through aesthetic experience, a careful attitude toward the world as a holistic work of art is formed.

3. *Transform the aesthetic into the ethical:* the capacity for empathy, developed during the contemplation of artistic images, becomes the foundation for moral choice and conflict-free social interaction.

Thus, arts education becomes the foundation for forming «aesthetic intelligence» – a special way of being in the world where beauty and meaning become the personality's internal compasses. This ensures not only artistic maturity but also a high level of social adaptability, as a child who possesses mentalization skills and epistemic trust is capable of a deeper and more constructive connection with society.

Conclusions. The epistemic reconfiguration of education, particularly in arts and preschool sectors, amidst the global transformations of social relations, is not merely a response to the challenges of the time but a conscious choice in favor of the humanization of society. Restoring epistemic trust between the child and the adult, using mentalization as a tool for cognition, and transforming the educator into a mentor/facilitator create the conditions for raising a holistic personality.

Art in this system becomes a universal language, and arts education must become the cutting edge for forming humanity’s new episteme – where

knowledge, feelings, and ethics constitute an indivisible unity. This is the path from education as an act of informing to education as an act of life-creation.

References

1. Ahnert L., Harwardt-Heinecke E., Kappler G., Eckstein-Madry T. & Milatz A. (2012). Student–teacher relationships and classroom climate in first grade: how do they relate to students' stress regulation? *Attachment & Human Development*. 14 (3), 249–263. https://doi.org/10.1080/14616734.2012.673277 .

2. Cassidy, J. (1994). Emotion Regulation: Influences of Attachment Relationships. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, no. 2/3: 228–49. https://doi.org/10.2307/1166148.

3. Chelouche-Dwek G., Fonagy P. (2026). Parent Learning Groups in Alternative Provision: A Mixed-Methods Study of Psychoeducation, Mentalization, and Peer Support for Parents of Children with Neurodevelopmental and Conduct Difficulties. *Children.* 13(3), 431. https://doi.org/10.3390/children13030431.

4. Fonagy, P., & Allison, E. (2014). The role of mentalizing and epistemic trust in the therapeutic relationship. *Psychotherapy, 51*(3), 372 – 380. https://doi.org/10.1037/a0036505.

5. Gervinskaitė-Paulaitienė, L.; Byrne, G.; Barkauskienė, R. (2023). Mentalization-Based Parenting Program for Child Maltreatment Prevention: A Pre–Post Study of 12-Week Lighthouse Group Program. *Children*. *10*, 1047. https://doi.org/10.3390/children10061047.

6. Hofmann, W., Finkel, E. J., & Fitzsimons, G. M. (2015). Close relationships and self-regulation: How relationship satisfaction facilitates momentary goal pursuit. *Journal of Personality and Social Psychology*. 109(3), 434–452. https://doi.org/10.1037/pspi0000020.

7. Karagiannopoulou E., Lianos P., Andriopoulou P., Rentzios Chr. & Fonagy P. (2026). Epistemic trust, attachment and approaches to learning: A person-oriented approach. *International Journal of School & Educational Psychology* . 14, Is. 2. 125-139. https://doi.org/10.1080/21683603.2026.2641432.

Borshch Vyacheslav, Head of Scientific Reserch Department of Metrological Assessments and Expertise of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-8851-4553

METHODOLOGICAL SUPPORT AND EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE INNOVATION INFRASTRUCTURE SUBJECTS IN UKRAINE'S DEFENSE SPHERE

Abstract

The article is devoted to the study of methodological support and evaluation of the efficiency of the innovation infrastructure subjects in Ukraine's defense sphere. It is substantiated that the effective functioning of the innovation activity system in the defense sphere is impossible without proper methodological support and effective evaluation mechanisms that allow timely identification of «bottlenecks» and adjustment of management decisions. Based on the analysis of current regulatory legal acts of Ukraine (Temporary Regulation on Innovative Activities in the Armed Forces of Ukraine, 2024; Methodology for Assessing the Scientific and Technical Level of a Promising Project, 2022), it is revealed that the current evaluation system is focused primarily on the stage of selecting innovative projects, but does not provide for a comprehensive assessment of the efficiency of the innovation infrastructure subjects themselves - the Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine, the Innovation Development Accelerator of the Ministry of Defense, the Brave1 cluster, and the VIP1 integration platform. An analysis of international experience in evaluating the efficiency of defense innovation structures is conducted: the Key Performance Indicators (KPI) system of DARPA (number of successful technology transfers, ratio of project cost to value created), the Balanced Scorecard model for defense

innovation hubs (Canada, Great Britain), and the Technology Readiness Level (TRL) monitoring system (NATO standards). A comprehensive methodology for evaluating efficiency is proposed, which includes four groups of indicators: input flow indicators (number of applications, quality of applications, share of projects corresponding to priority areas); process indicators (speed of passing through stages, share of decisions in compliance with deadlines, cost of supporting one project); outcome indicators (number of samples adopted for service, share of prototypes that reached serial production, economic effect from implementation); impact indicators (combat effectiveness, reduction of losses, increase of capabilities). A method for calculating an integral indicator of the efficiency of an innovation infrastructure subject based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) is developed. Recommendations for implementing the proposed methodology in the activities of the Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine and other innovation infrastructure subjects are substantiated.

Keywords: methodological support, efficiency evaluation, innovation infrastructure, defense sphere, Key Performance Indicators (KPI), Technology Readiness Level (TRL), Analytic Hierarchy Process, public administration.

Introduction

Formulation of the problem. The effective functioning of the innovation activity system in the defense sphere directly depends on the ability to make timely and sound management decisions based on objective data on the results of the activities of its subjects. As noted in the report on the «Way» operational task (State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, 2024), the innovation activity system in the Armed Forces of Ukraine includes six subsystems, including a subsystem for controlling the effectiveness of innovation activities [1, p. 55]. However, the analysis of current regulatory legal acts shows that the methodological support for evaluating

efficiency is limited primarily to the stage of selecting innovative projects and does not provide for a comprehensive assessment of the activities of the infrastructure subjects themselves - the Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine, the Innovation Development Accelerator of the Ministry of Defense, the Brave1 cluster, the VIP1 integration platform, etc.

The Defense Innovation Board of the United States, in its March 2026 analysis of Ukraine's potential to develop the technological potential of the Armed Forces of Ukraine, pointed out critical shortcomings in the management system: «the Ministry of Defense of Ukraine (MOU) and the General Staff (GS) do not have a coherent approach to rapid capability development»; «the inability of the Ministry of Defense to properly formulate and convey military requirements and requests to industry or foreign partners» [2]. These conclusions indicate not only organizational but also methodological problems - the lack of adequate evaluation mechanisms that would allow timely detection of «bottlenecks» and correction of management decisions.

Thus, the urgent task is to develop methodological support and evaluation mechanisms for the efficiency of the innovation infrastructure subjects in the defense sphere of Ukraine, which would allow a comprehensive assessment of their activities and the formation of recommendations for improvement.

Literature review. The issue of evaluating the effectiveness of innovation activities in the public sector is covered in the works of J. Bryson (2004) on strategic planning for public organizations, T. Poister (2010) on the relationship between strategic management and performance in the public sector. In the defense sector, the problem of evaluating the effectiveness of innovative structures is being studied by the US Defense Innovation Board, which conducts regular assessments of the effectiveness of DARPA and other innovation structures.

In Ukraine, separate aspects of evaluating the effectiveness of innovation activities were studied by V.V. Khryzhniak (2005) - regarding the implementation

of the NATO military standardization system; I.M. Lappo, M.O. Herashchenko, O.V. Chervotoka (2020) - also regarding the implementation of NATO standards. The report on the «Track-N» operational task (2025) details methods for comparing moving object trajectories using dynamic time warping, Fréchet distance, and Hausdorff distance, which require preliminary data processing (filtering, resampling, interpolation) - these are typical tasks of big data analytics [3, p. 57-62]. The evaluation of the scientific and technical level of an innovative project is currently carried out by an expert commission in accordance with the Methodology approved by Order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine No. 137 of December 14, 2022 [1, p. 57-60]. However, this methodology is focused on evaluating the project, not the activities of the infrastructure subjects.

Therefore, the issue of developing a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of the innovation infrastructure subjects themselves remains insufficiently studied in Ukrainian science.

Purpose of the article - based on the analysis of current regulations, international experience and the conclusions of the US Defense Innovation Board, to develop a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of innovation infrastructure subjects in the defense sphere of Ukraine, including a system of key performance indicators (KPIs), a methodology for calculating an integral indicator based on the Analytic Hierarchy Process (AHP), and recommendations for its implementation.

Main material presentation

1. Analysis of the current state of methodological support for evaluating the effectiveness of innovation activities in the defense sphere of Ukraine. The regulatory framework for innovation activities in the defense sphere of Ukraine includes a number of legal acts, the main of which are:

- Temporary Regulation on Innovative Activities in the Armed Forces of Ukraine (approved by the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine on March 15, 2024);
- Decision of the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine «On Approval of the Temporary Procedure for the Organization and Conduct of Monitoring, Evaluation, and Support of Innovative Projects for the Needs of the Armed Forces of Ukraine» (April 11, 2023);
- Order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine No. 137 of December 14, 2022 «On Approval of Methods for Determining the Priority of Research and Development Works and Assessing the Scientific and Technical Level of a Promising Project».

The analysis shows that the current evaluation system focuses on the following indicators:

- scientific and technical level of the innovative project (high, medium, low);
- degree of compliance with the requirements of current legislation;
- possibilities of scaling up (mass production).

However, these indicators do not allow a full assessment of the efficiency of the infrastructure subjects themselves. For example, the Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine does not have approved KPIs. The work of the Innovation Development Accelerator of the Ministry of Defense is not evaluated by quantitative indicators. The efficiency of the VIP1 integration platform is not monitored for the completeness of filling the databases.

As noted in the «Way» report, «the system for collecting, summarizing and analytical processing of information on the results of operation and repair of weapons and military equipment has a three-level hierarchical structure and operates at the strategic, operational and tactical levels» [1, p. 80]. However, the system is largely based on manual submission of daily analytical reports: «in the

context of hostilities, submission of reports in the prescribed form is carried out daily as per subordination» [1, p. 81]. The level of automation of this process remains insufficient, which complicates the implementation of effective evaluation mechanisms.

2. International experience in evaluating the effectiveness of defense innovation structures. The analysis of the practice of leading countries allows us to identify three main models for evaluating the effectiveness of defense innovation structures.

2.1. DARPA KPI system (USA). DARPA uses the following key performance indicators:

- number of successful technology transfers to military branches;
- ratio of project cost to value created (measured in terms of increase in combat capability);
- number of patents obtained;
- number of start-ups created based on DARPA developments;
- share of projects that have reached the prototyping stage.

DARPA specialists note that not all projects can be successful: the risk of failure is deliberately built into the design stage, but the organization is responsible for ensuring that the number of successful transfers of «breakthrough» technologies to the military justifies the cost of unsuccessful ones.

2.2. Balanced Scorecard for defense innovation hubs (Canada, Great Britain). In the Canadian IDEaS program, the following groups of indicators are used:

- input indicators (number of applications, their quality, geographical and sectoral diversity);
- process indicators (speed of application processing, volume of expert support, number of «sandbox» participants);

- outcome indicators (number of technologies that have reached the prototype, number of technologies purchased);
- impact indicators (increasing the combat capabilities of the armed forces).

The Great Britain Defense Innovation Initiative uses a similar methodology with an emphasis on outcome indicators - what specific defense challenges are solved by the implemented developments.

2.3. TRL monitoring system (NATO standards). The Technology Readiness Level (TRL) system, which includes 9 levels: from TRL 1 (basic principles documented) to TRL 9 (technology proven in combat conditions), is widely used in NATO countries. This system allows you to:

- objectively assess the degree of readiness of technology for implementation;
- compare projects of different types according to a single scale;
- plan the resources needed to move to the next level.

Based on TRL, appropriate management decisions can be made: projects with TRL 1-3 require fundamental research funding; TRL 4-6 require prototyping; TRL 7-9 require testing and scaling.

However, TRL focuses on evaluating the technology itself, not the activities of the infrastructure subjects. Therefore, the development of a comprehensive methodology requires a combination of KPI, Balanced Scorecard, and TRL approaches.

3. Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of innovation infrastructure subjects (EIS methodology). Based on the analysis of current practice and international experience, a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of innovation infrastructure subjects (EIS) is proposed, which includes four groups of indicators.

3.1. Input flow indicators. These indicators characterize the «incoming flow» of projects and applications entering the innovation infrastructure subject.

Indicator	Unit	Calculation method
Number of applications received (N_app)	units	direct count
Share of projects corresponding to priority areas (P_prior)	%	N_prior / N_app × 100%
Average expert assessment of application quality (Q_app)	points (1-10)	average of expert assessments
Number of projects with TRL 1-3 (N_TRL_low)	units	direct count
Number of projects with TRL 4-6 (N_TRL_mid)	units	direct count

3.2. Process indicators. These indicators characterize the efficiency of the subject's work on processing applications and supporting projects.

Indicator	Unit	Calculation method
Average time for application processing (T_proc)	days	total processing time / number of applications
Share of decisions made in compliance with deadlines (P_deadline)	%	number of decisions on time / total number of decisions × 100%
Cost of supporting one project (C_project)	thousand UAH	total support costs / number of projects
Number of expert evaluations conducted (N_exp)	units	direct count
Number of events held (N_event)	units	direct count

3.3. Outcome indicators. These indicators characterize the direct results of the activities of the innovation infrastructure subject.

Indicator	Unit	Calculation method
Number of projects that reached the prototyping stage (N_proto)	units	direct count
Number of projects that passed testing (N_test)	units	direct count
Number of prototypes adopted for service (N_adopt)	units	direct count
Share of prototypes that reached serial production (P_scale)	%	N_serial / N_adopt × 100%
Economic effect from implementation (E_eco)	million UAH	calculation based on the methodology of avoided damage/resource savings

3.4. Impact indicators. These indicators characterize the long-term impact of the subject's activities on defense capability and national security.

Indicator	Unit	Calculation method
Increase in combat capability (Δ_combat)	%	expert assessment based on the results of combat use
Reduction of losses (loss)	units	comparison of loss indicators before/after implementation
Number of technologies meeting NATO standards (N_NATO)	units	expert assessment
Level of integration with partner digital systems (L_integ)	%	expert assessment

4. Method of calculating the integral indicator based on the Analytic Hierarchy Process (AHP). To summarize the partial indicators into a general one, it is proposed to use the Analytic Hierarchy Process (AHP) by T. Saaty.

Step 1: structuring the problem. A hierarchy is built: the general goal is «efficiency of the innovation infrastructure subject» - groups (criteria) - sub-criteria (individual indicators).

Step 2: building pairwise comparison matrices. For each level of the hierarchy, square matrices of pairwise comparisons are constructed, in which experts compare the relative importance of elements using the Saaty scale (from 1 - equal importance to 9 - absolute superiority).

Step 3: calculating priority vectors. For each matrix, the priority vector (eigenvector) is calculated, and then normalized to obtain the weights of the criteria and sub-criteria.

Step 4: checking consistency. The consistency index (CI) and the consistency ratio (CR) are calculated. A CR value ≤ 0.1 is considered acceptable.

Step 5: calculating the integral indicator. The integral indicator (I_efficiency) is calculated as the weighted sum of normalized values of partial indicators:

$$I_efficiency = \Sigma\ (w_j \times (x_j / x_norm,j))$$

where w_j - weight of the j-th indicator, x_j - the actual value of the j-th indicator, x_norm,j - the normative (reference) value of the j-th indicator.

Step 6: interpretation of results. Based on the obtained values of the integral indicator and its components, conclusions are drawn about the effectiveness of the subject, «bottlenecks» are identified, and recommendations for improvement are formed.

5. Recommendations for the implementation of the EIS methodology. To implement the proposed methodology in the activities of the

Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine and other innovation infrastructure subjects, the following is recommended:

5.1. *Bringing regulatory support into compliance.* Amend the Temporary Regulation on Innovation Activities in the Armed Forces of Ukraine in terms of:

- fixing the list of KPIs for each subject;
- establishing deadlines for submitting reports (quarterly, annually);
- introducing mandatory expert evaluation of impact indicators with the involvement of representatives of the Armed Forces.

5.2. *Automation of data collection.* Create an automated system for collecting and processing indicators based on the VIP1 integration platform, which should provide:

- automatic uploading of data on the number of applications, processing time, number of projects at various stages;
- an interface for entering data on the economic effect and combat effectiveness;
- generating reports on the efficiency of subjects.

5.3. *Conducting training.* Conduct training for employees of innovation infrastructure subjects on the use of the AHP method, filling out pairwise comparison matrices, and interpreting the results.

5.4. *Implementation stages.*

- Stage I (2026-2027): pilot implementation in the Innovation Activity Department of the Armed Forces of Ukraine;
- Stage II (2027-2028): distribution to other subjects (Accelerator, Office, Brave1);
- Stage III (2028-2029): integration with NATO systems for the mutual recognition of efficiency results.

Conclusions

Conducted research allows drawing the following conclusions:

1. The current system of methodological support for evaluating the efficiency of innovation activity in the defense sphere of Ukraine is focused mainly on the stage of selecting innovative projects and does not provide for a comprehensive assessment of the activities of the infrastructure subjects themselves. This creates risks of untimely detection of «bottlenecks» and ineffective management decisions.

2. International experience (DARPA KPI system, Balanced Scorecard, TRL monitoring system) offers effective tools for evaluating efficiency, but requires adaptation to Ukrainian realities (martial law, lack of developed venture capital market, specific structure of the defense-industrial complex).

3. The proposed comprehensive methodology for evaluating the efficiency of innovation infrastructure subjects (EIS) includes four groups of indicators: input flow, process, outcome, and impact. This allows for a comprehensive assessment of the subject's activities - from incoming applications to the long-term impact on defense capability.

4. The method of calculating the integral indicator based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) ensures the scientific validity of weighting coefficients taking into account the opinions of experts and allows obtaining a comparable result for different subjects.

5. Implementation of the EIS methodology requires making changes to the Temporary Regulation on Innovative Activities in the Armed Forces of Ukraine, creating an automated data collection system based on the VIP1 platform, and training specialists.

Further research should focus on developing methods for assessing the economic efficiency of defense innovations, adapting the Balanced Scorecard to Ukrainian conditions, and creating a system for monitoring the technology readiness levels (TRL) of innovative projects in accordance with NATO standards.

References

1. State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification. (2024). *Rozrobka rekomendatsiy shchodo udoskonalennya zakhodiv suprovodzhennya innovatsiynykh proyektiv zrazkiv ozbroyennya ta viys'kovoyi tekhniky na vsikh stadiyakh yikh zhyttyevoho tsyklu (shyfr «Shlyakh»)* [Development of recommendations for improving the support measures for innovative projects of weapons and military equipment samples at all stages of their life cycle (code «Way»)]. Cherkasy. [in Ukrainian]

2. Defense Innovation Board. (2026). *Analysis of Ukrainian capabilities to develop the technological potential of the Armed Forces of Ukraine*. USA: Department of Defense. Retrieved from https://militarnyi.com/en/news/the-us-critically-assessed-the-influence-of-the-ukrainian-defense-ministry-and-general-staff-on-the-development-of-defense-technologies/

3. State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification. (2025). *Udoskonalennya metodychnoho aparatu vykorystannya aparatury spozhyvachiv hlobal'nykh navigatsiynykh suputnykovykh system pry provedenni vyprobuvan' ozbroyennya ta viys'kovoyi tekhniky (shyfr «Trek-N»)* [Improvement of the methodological apparatus for the use of consumer equipment of global navigation satellite systems during weapons and military equipment testing (code «Track-N»)]. Cherkasy. [in Ukrainian]

4. Bryson, J. M. (2004). *Strategic planning for public and nonprofit organizations: A Guide to Strengthening and Sustaining Organizational Achievement* (3rd ed.). San Francisco: John Wiley & Sons.

5. Poister, T. H. (2010). The Future of Strategic Planning in the Public Sector: Linking Strategic Management and Performance. *Public Administration Review*, December, Special Issue, S246-S254.

6. US Government Accountability Office. (2023). *DARPA: Assessment of the Agency's Efforts to Transition Technologies*. Washington, DC: GAO.

7. Government of Canada. (2024). *Innovation for Defence Excellence and Security (IDEaS) Program: Annual Report*. Ottawa: Department of National Defence.

8. UK Ministry of Defence. (2025). *Defence Innovation Initiative: Annual Report 2025*. London: UK Ministry of Defence.

9. NATO Standardization Office. (2018). *Technology Readiness Levels (TRL) as a tool for the assessment of the maturity of technologies*. Brussels: NATO.

10. Khryzhniak, V.V. (2005). Problemy vprovadzhennya v Ukrayini viys′kovoyi systemy standartyzatsiyi NATO [Problems of implementation of the NATO military standardization system in Ukraine]. *Systems of Armament and Military Equipment*, (2), 3-6. [in Ukrainian]

11. Lappo, I.M., Herashchenko, M.O., & Chervotoka, O.V. (2020). Deyaki aspekty vprovadzhennya standartiv NATO u systemi vyprobuvan′ ozbroyennya ta viys′kovoyi tekhniky v Ukrayini [Some aspects of the implementation of NATO standards in the testing system of weapons and military equipment in Ukraine]. Collection of Scientific Works of CRIWET AFU, 2(4), 56-63. https://doi.org/10.27701/dndivsovt.4.2020.07

12. Ministry of Defence of Ukraine. (2026, April 19). Combat experience and technological adaptability: Ukraine’s contribution to shaping new defense standards. Retrieved from https://mod.gov.ua/en/news/combat-experience-and-technological-adaptability-ukraine-s-contribution-to-shaping-new-defense-standards

13. National Security and Defense Council of Ukraine. (2026, March 18). Oleksandr Lytvynenko: NATO standards are the best standards of the military sphere, and we are guided exactly by them for realization of internal reforms in Ukraine. Retrieved from https://www.rnbo.gov.ua/en/Diialnist/2384.html?PRINT

14. Ministry of Defence of Ukraine. (2025, October 21). MoD and Bureau of International Certification agree to cooperate in the field of quality assurance. Retrieved from https://www.globalsecurity.org/wmd/library/news/ukraine/2025/10/ukraine-251021-ukraine-mod03.htm

15. GlobalSecurity.org. (2026, January 30). «Train the Trainer»: Norway launches a new programme for Ukraine's Ministry of Defence specialists. Retrieved from https://www.globalsecurity.org/wmd/library/news/ukraine/2026/01/ukraine-260130-ukraine-mod04.htm

16. Digital State UA. (2025, November 25). NATO and Ukraine launch €10M defense innovation programme. Retrieved from https://digitalstate.gov.ua/news/tech/nato-and-ukraine-launch-eur10m-defense-innovation-programme

17. DSTU ISO 12188-1:2014. (2024). Sil′s′kohospodars′ki ta lisohospodars′ki traktory i mashyny. Metodyky vyprobuvan′ system pozytsionuvannya ta navihatsiyi. Chastyna 1. Dynamichni vyprobuvannya suputnykovykh pryladiv pozytsionuvannya [Tractors and machinery for agriculture and forestry. Test procedures for positioning and guidance systems. Part 1. Dynamic testing of satellite-based positioning devices]. Kyiv: DP «UkrNDNTs». [in Ukrainian]

18. Ministry of Defence of Ukraine. (2025, September 9). MoD transitions to a modern quality assurance model. Retrieved from https://mod.gov.ua/news/minoboroni-perehodit-do-suchasnoyi-modeli-garantuvannya-yakosti

Овсянко Дмитро Сергійович, студент 2 курсу факультету природничої та фізико-математичної освіти, Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, Україна, ORCID ID: 0009-0003-1830-8441

Ovsianko Dmytro Serhiyovych, 2nd year student, Faculty of Natural Science and Physics-Mathematics Education Oleksandr Dovzhenko, Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine, ORCID ID: 0009-0003-1830-8441

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ПЕРЕВАГИ ТА РИЗИКИ

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS: BENEFITS AND RISKS

Анотація

У статті здійснено комплексний аналіз використання штучного інтелекту в освітньому процесі в умовах цифровізації. Розглянуто основні напрями застосування технологій штучного інтелекту, зокрема персоналізацію навчання, автоматизацію освітніх процесів та розширення доступу до освітніх ресурсів. Визначено ключові переваги впровадження штучного інтелекту, серед яких індивідуалізація навчання, підвищення ефективності освітнього процесу та розвиток цифрових компетентностей. Окрему увагу приділено ризикам, пов’язаним із використанням ШІ, зокрема порушенням академічної доброчесності, зниженню рівня самостійності студентів, можливій недостовірності інформації та етичним викликам. Обґрунтовано необхідність формування культури відповідального використання штучного інтелекту в освіті.

Ключові слова: штучний інтелект, освіта, цифровізація, академічна доброчесність, інноваційні технології.

Abstract

The article provides a comprehensive analysis of the use of artificial intelligence in the educational process in the context of digitalization. The main areas of application of artificial intelligence technologies are examined, including personalized learning, automation of educational processes, and increased accessibility of educational resources. The key advantages of implementing artificial intelligence are identified, among which are the individualization of learning, improvement of the efficiency of the educational process, and the development of digital competencies. Particular attention is paid to the risks associated with the use of AI, including violations of academic integrity, a decrease in students' independence, the potential unreliability of information, and ethical challenges. The necessity of forming a culture of responsible use of artificial intelligence in education is substantiated.

Keywords: artificial intelligence, education, digitalization.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток суспільства характеризується стрімкою цифровізацією, яка суттєво впливає на всі сфери життєдіяльності людини, зокрема на систему освіти. Активне впровадження інформаційно-комунікаційних технологій змінює традиційні підходи до організації навчального процесу, сприяє переходу до гнучких, інтерактивних та індивідуалізованих моделей навчання. У цьому контексті особливого значення набуває використання технологій штучного інтелекту, які виступають одним із ключових чинників трансформації сучасної освіти.

Штучний інтелект дедалі ширше інтегрується в освітнє середовище, забезпечуючи нові можливості для автоматизації навчальних процесів,

адаптації освітнього контенту до індивідуальних потреб здобувачів освіти, а також підвищення доступності навчальних ресурсів. Завдяки таким технологіям змінюється роль викладача, який поступово переходить від функції транслятора знань до ролі наставника та координатора навчальної діяльності. Водночас студенти отримують доступ до інструментів, що дозволяють ефективніше опановувати навчальний матеріал, аналізувати інформацію та розвивати власні компетентності.

Разом із тим активне впровадження штучного інтелекту в освітній процес супроводжується низкою суттєвих викликів. Однією з ключових проблем є забезпечення якості освіти в умовах широкого використання цифрових технологій. Зокрема, виникає ризик формального засвоєння знань, коли здобувачі освіти покладаються на результати, згенеровані штучним інтелектом, без належного критичного осмислення навчального матеріалу. Це може призводити до зниження рівня сформованості професійних компетентностей та поверхневого розуміння навчального змісту.

Не менш важливим аспектом є проблема академічної доброчесності. Використання генеративних систем штучного інтелекту створює нові можливості для порушення академічних норм, зокрема у вигляді несанкціонованого використання згенерованих текстів під час виконання навчальних завдань. Це ускладнює контроль за самостійністю роботи студентів і потребує перегляду підходів до оцінювання результатів навчання.

Крім того, актуальності набувають питання достовірності інформації, отриманої за допомогою штучного інтелекту, а також етичні та правові аспекти його використання. Відсутність чітких регуляторних механізмів і єдиних стандартів застосування ШІ в освіті створює додаткові труднощі як для викладачів, так і для здобувачів освіти.

Таким чином, сучасні умови розвитку освіти зумовлюють необхідність комплексного дослідження впливу штучного інтелекту на освітній процес.

Особливої уваги потребує аналіз його переваг і ризиків, визначення оптимальних моделей використання, а також розроблення ефективних механізмів забезпечення якості освіти та дотримання академічної доброчесності в умовах цифровізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема використання штучного інтелекту в освіті активно досліджується як українськими, так і зарубіжними науковцями. Зокрема, у звітах OECD підкреслюється значний вплив цифрових технологій на якість освіти та трансформацію ролі викладача [3]. У рекомендаціях UNESCO наголошується на необхідності етичного використання генеративного штучного інтелекту в освітньому середовищі [4]. Дослідження Lymar та ін. свідчить про високий рівень використання ШІ студентами, що підтверджує актуальність даної проблематики [5]. Водночас науковці акцентують увагу на необхідності формування академічної культури та відповідального ставлення до використання новітніх технологій.

Окремі аспекти впровадження штучного інтелекту в освіті розглядаються у працях, присвячених цифровій трансформації освітнього середовища, де підкреслюється роль інноваційних технологій у підвищенні ефективності навчання та забезпеченні індивідуалізації освітнього процесу. У цих дослідженнях зазначається, що застосування ШІ сприяє переходу від традиційних форм навчання до адаптивних моделей, орієнтованих на потреби здобувачів освіти.

Водночас значна увага приділяється проблемам академічної доброчесності в умовах використання цифрових технологій. У наукових працях наголошується, що поширення інструментів штучного інтелекту створює нові виклики для системи оцінювання знань, оскільки ускладнює визначення рівня самостійності виконання навчальних завдань. Це зумовлює необхідність перегляду традиційних підходів до контролю знань і

впровадження нових форм оцінювання, орієнтованих на розвиток критичного мислення та практичних навичок.

Крім того, у сучасних дослідженнях підкреслюється важливість формування цифрових компетентностей як у студентів, так і у викладачів. Ефективне використання штучного інтелекту в освітньому процесі можливе лише за умови належного рівня цифрової грамотності, що дозволяє критично оцінювати отриману інформацію та використовувати технології відповідально.

Разом із тим аналіз наукових джерел свідчить, що, незважаючи на значну кількість досліджень, проблема використання штучного інтелекту в освіті залишається недостатньо вивченою, зокрема в частині комплексного аналізу його впливу на якість освіти, академічну доброчесність і формування професійних компетентностей. Це зумовлює необхідність подальших наукових досліджень у даному напрямі.

Мета статті . Метою статті є аналіз переваг та ризиків використання штучного інтелекту в освітньому процесі та визначення перспектив його застосування.

Виклад основного матеріалу. Штучний інтелект у сучасній освіті виступає як багатофункціональний інструмент, що забезпечує автоматизацію навчальних процесів, адаптацію освітнього контенту та всебічну підтримку навчальної діяльності. Його впровадження суттєво змінює традиційну модель освіти, перетворюючи її з уніфікованої системи на гнучке середовище, орієнтоване на потреби конкретного здобувача освіти. Використання технологій ШІ дозволяє реалізувати індивідуальний підхід до навчання, що є одним із ключових принципів сучасної педагогіки та компетентнісного підходу.

Персоналізація навчання, яка забезпечується за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, передбачає врахування індивідуальних особливостей

студентів, їхнього рівня підготовки, стилю навчання та темпу засвоєння матеріалу. Наприклад, адаптивні навчальні платформи можуть автоматично змінювати складність завдань залежно від результатів студента, що сприяє більш ефективному засвоєнню знань. У результаті підвищується не лише академічна успішність, але й мотивація до навчання, оскільки студент отримує завдання, які відповідають його реальному рівню можливостей.

Важливою перевагою використання штучного інтелекту є автоматизація рутинних завдань, таких як перевірка тестів, аналіз результатів, формування звітності або навіть первинне оцінювання письмових робіт. Це дозволяє викладачам значно зменшити часові витрати на технічну роботу та зосередитися на творчій, методичній і дослідницькій діяльності. Крім того, цифрові платформи з елементами ШІ забезпечують широку доступність освіти незалежно від географічного розташування, що особливо актуально в умовах дистанційного та змішаного навчання, коли освітній процес має бути максимально гнучким і безперервним [4].

Окремо слід відзначити роль штучного інтелекту у створенні нових форматів навчання, зокрема інтерактивних симуляцій, віртуальних лабораторій та інтелектуальних тьюторів. Такі інструменти дозволяють моделювати реальні професійні ситуації, що особливо важливо для практично орієнтованих дисциплін. Це сприяє формуванню не лише теоретичних знань, але й практичних навичок, необхідних у майбутній професійній діяльності.

Водночас використання штучного інтелекту супроводжується низкою ризиків і викликів. Одним із найважливіших є проблема академічної доброчесності, оскільки генеративні моделі можуть використовуватися для створення готових відповідей без глибокого розуміння навчального матеріалу. Це створює ситуацію, коли формально завдання виконано, але реальний рівень знань студента залишається низьким. Дослідження

показують, що значна частина здобувачів освіти активно застосовує ШІ у навчальному процесі, що підвищує ризик зниження якості підготовки фахівців [5].

Ще одним суттєвим ризиком є зниження рівня самостійності студентів та формування залежності від технологічних рішень. Надмірне використання ШІ може призвести до ослаблення навичок аналітичного мислення, аргументації та самостійного вирішення проблем. Крім того, штучний інтелект не завжди гарантує достовірність інформації, оскільки його відповіді базуються на великих масивах даних, які можуть містити неточності або застарілу інформацію. Це підкреслює необхідність розвитку у студентів навичок критичного мислення, перевірки джерел та інформаційної грамотності.

Етичні та правові аспекти використання ШІ також потребують особливої уваги з боку наукової спільноти та освітніх інституцій. Питання авторства навчальних робіт, відповідальності за створений за допомогою ШІ контент, а також меж допустимого використання таких технологій залишаються недостатньо врегульованими. Це створює потребу у формуванні нових нормативних підходів та внутрішніх академічних стандартів, які б регулювали використання штучного інтелекту в освітньому процесі.

У сучасних умовах виникає необхідність трансформації підходів до оцінювання знань. Традиційні форми контролю поступово доповнюються або замінюються більш складними методами, такими як усні іспити, проєктна діяльність, індивідуальні дослідницькі завдання та практичні кейси. Це дозволяє зменшити ризики академічної недоброчесності та водночас сприяє формуванню глибокого розуміння навчального матеріалу. Крім того, важливим напрямом є інтеграція ШІ в систему оцінювання таким

чином, щоб він виступав не як інструмент підміни знань, а як засіб їхнього розвитку та моніторингу.

Висновки. Отже, штучний інтелект сьогодні виступає одним із ключових інструментів модернізації сучасного освітнього процесу, який суттєво трансформує підходи до навчання, викладання та оцінювання знань. Його впровадження відкриває широкі можливості для підвищення якості освіти, зокрема через персоналізацію навчання, автоматизацію освітніх процедур, розширення доступу до навчальних ресурсів та створення нових інтерактивних форматів засвоєння матеріалу. Завдяки цьому освітній процес стає більш гнучким, адаптивним і орієнтованим на потреби сучасного здобувача освіти.

Водночас активне використання технологій штучного інтелекту супроводжується низкою суттєвих викликів і ризиків, які не можна ігнорувати. Серед них особливе місце займають проблеми академічної доброчесності, зниження рівня самостійності студентів, можливе формування залежності від технологічних рішень, а також ризики отримання недостовірної або неперевіреної інформації. Окрім цього, залишаються відкритими етичні та правові питання, пов’язані з авторством навчальних робіт, відповідальністю за використання згенерованого контенту та межами застосування ШІ в освітньому середовищі.

Подолання зазначених проблем потребує комплексного та системного підходу, що включає як технологічні, так і педагогічні рішення. Важливим є не лише впровадження інноваційних інструментів, але й одночасне формування у здобувачів освіти критичного мислення, інформаційної грамотності та навичок самостійного аналізу. Крім того, необхідним є розроблення чітких нормативних і методичних рекомендацій щодо використання штучного інтелекту в освітньому процесі, що дозволить забезпечити його етичне та ефективне застосування.

Оптимальним напрямом розвитку сучасної освіти є гармонійне поєднання традиційних методів навчання з інноваційними технологіями, зокрема інструментами штучного інтелекту. Така інтеграція дозволяє зберегти фундаментальні педагогічні принципи, одночасно підвищуючи ефективність освітнього процесу та його відповідність вимогам цифрової епохи. У результаті формується нова модель освіти, яка спрямована на підготовку компетентних, адаптивних і конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно діяти в умовах швидких технологічних змін.

Література

1. Закон України «Про освіту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

2. Закон України «Про вищу освіту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18

3. OECD. Education at a Glance 2023. URL: https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/

4. UNESCO. Guidance for generative AI in education. URL: https://unesdoc.unesco.org

5. Lymar L. et al. Academic misconduct and artificial intelligence use. URL: https://doi.org/10.1186/s12909-025-08100-y

6. Bretag T. Handbook of Academic Integrity. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-287-098-8

7. European Network for Academic Integrity. URL: https://www.academicintegrity.eu

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). On Education (Law No. 2145-VIII). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). On Higher Education (Law No. 1556-VII). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18

3. OECD. (2023). Education at a Glance 2023: OECD Indicators. OECD Publishing. https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/

4. UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

5. Lymar, L., et al. (2025). Academic misconduct and artificial intelligence use. BMC Medical Education, 25. https://doi.org/10.1186/s12909-025-08100-y

6. Bretag, T. (Ed.). (2016). Handbook of Academic Integrity. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-098-8

7. European Network for Academic Integrity. (n.d.). https://www.academicintegrity.eu

Складанюк Олексій, аспірант кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, ORCID: 0009-0003-3180-0326

Skladaniuk Oleksii, Postgraduate Student of the Department of Software Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: 0009-0003-3180-0326

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ РЕДАГУВАННЯ ІГРОВИХ СЦЕН У СЕРЕДОВИЩАХ РОЗРОБКИ ВІДЕОІГОР

INTELLIGENT METHODS FOR EDITING GAME SCENES IN VIDEO GAME DEVELOPMENT ENVIRONMENTS

Анотація

Мета роботи. Метою статті є дослідження сучасних інтелектуальних методів редагування ігрових сцен у середовищах розробки відеоігор та визначення їх ролі в автоматизації процесів створення, модифікації й оптимізації ігрового контенту. Особливу увагу приділено підходам, що дозволяють підвищити ефективність роботи з великою кількістю об’єктів сцени, покращити продуктивність інтерактивних застосунків і зменшити обсяг ручного налаштування елементів віртуального середовища.

Методологія. У дослідженні використано методи теоретичного аналізу, узагальнення, систематизації та порівняння сучасних підходів до редагування ігрових сцен. Проаналізовано можливості застосування ієрархічних структур об’єктів, систем рівнів деталізації (LOD), процедурної генерації контенту, інтерактивних редакторів сцен, а також алгоритмів штучного інтелекту, машинного навчання, навчання з підкріпленням і генеративних моделей. Окремо розглянуто функціональні можливості

сучасних середовищ розробки, зокрема Unity та Unreal Engine, а також використання структурованих форматів даних, зокрема JSON, для збереження, передачі й обробки інформації про об’єкти сцени.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у систематизації інтелектуальних підходів до редагування ігрових сцен як окремого напряму в межах сучасних GameDev-технологій. У статті узагальнено взаємозв’язок між алгоритмами штучного інтелекту, засобами процедурної генерації, методами автоматизованого налаштування параметрів сцени та інструментами адаптивної модифікації ігрового середовища. На відміну від підходів, що зосереджуються лише на генерації контенту, у роботі акцентовано увагу саме на інтелектуальному редагуванні вже сформованих сцен, їх оптимізації та підтримці дизайнерських рішень у процесі розробки відеоігор.

Висновки. Встановлено, що використання інтелектуальних методів редагування ігрових сцен дозволяє підвищити ефективність розробки, скоротити витрати часу на ручне налаштування, оптимізувати використання обчислювальних ресурсів і покращити якість кінцевого продукту. Застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання відкриває можливості для автоматизованого розміщення об’єктів, адаптації поведінки елементів у реальному часі та створення більш варіативних і реалістичних ігрових середовищ. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання під час розробки сучасних відеоігор, зокрема у середовищах, орієнтованих на масштабоване та продуктивне редагування сцен.

Ключові слова: інтелектуальні методи, редагування ігрових сцен, штучний інтелект, машинне навчання, процедурна генерація контенту, Unity, Unreal Engine, інтерактивні середовища.

Abstract

Purpose. The purpose of the article is to study modern intelligent methods for editing game scenes in video game development environments and to determine their role in automating the processes of creating, modifying, and optimizing game content. Particular attention is paid to approaches that improve the efficiency of working with a large number of scene objects, enhance the performance of interactive applications, and reduce the amount of manual configuration required for virtual environment elements.

Methodology. The study is based on the methods of theoretical analysis, generalization, systematization, and comparison of modern approaches to game scene editing. The possibilities of applying hierarchical object structures, level-of-detail (LOD) systems, procedural content generation, interactive scene editors, as well as artificial intelligence algorithms, machine learning, reinforcement learning, and generative models are analyzed. Special attention is also paid to the capabilities of modern development environments, in particular Unity and Unreal Engine, and to the use of structured data formats, especially JSON, for storing, transmitting, and processing information about scene objects.

Scientific novelty. The scientific novelty of the study lies in the systematization of intelligent approaches to game scene editing as a separate direction within modern GameDev technologies. The article generalizes the relationship between artificial intelligence algorithms, procedural generation tools, automated scene parameter adjustment methods, and adaptive environment modification instruments. Unlike approaches focused only on content generation, the paper emphasizes the intelligent editing of already created scenes, their optimization, and support for designer decisions during the video game development process.

Conclusions. It has been established that the use of intelligent methods for editing game scenes increases development efficiency, reduces the time required

for manual configuration, optimizes the use of computational resources, and improves the quality of the final product. The application of artificial intelligence and machine learning algorithms opens up opportunities for automated object placement, real-time adaptation of game element behavior, and the creation of more diverse and realistic game environments. The practical significance of the obtained results lies in their applicability to the development of modern video games, especially in environments focused on scalable and high-performance scene editing.

Key words: intelligent methods, game scene editing, artificial intelligence, machine learning, procedural content generation, Unity, Unreal Engine, interactive environments.

Постановка проблеми. Сучасна розробка відеоігор пов’язана з постійним ускладненням ігрових світів, збільшенням кількості інтерактивних об’єктів, зростанням вимог до візуальної якості та необхідністю забезпечення стабільної продуктивності в режимі реального часу. За таких умов ручне редагування сцен стає дедалі менш ефективним, оскільки потребує значних часових витрат, великої кількості повторюваних операцій та ускладнює швидке внесення змін до структури ігрового середовища (Shaker, Togelius, Nelson, 2016; Zhang, 2024).

Ігрова сцена є багатокомпонентною структурою, яка поєднує геометрію простору, освітлення, матеріали, фізичні властивості об’єктів, поведінкові модулі, маршрути навігації, анімаційні елементи та логіку взаємодії з гравцем. Через це навіть локальні зміни в композиції сцени можуть впливати на прохідність рівня, баланс, навігацію, продуктивність рендерингу та загальне сприйняття ігрового простору. Саме тому зростає потреба в методах, які дозволяють не лише редагувати сцену, а й аналізувати

її стан, виявляти проблеми та пропонувати доцільні варіанти оптимізації (Summerville et al., 2018; Green et al., 2022, с. 638–645).

Інтенсивний розвиток штучного інтелекту, процедурної генерації, генеративних моделей та ко-креативних інструментів сприяв переходу від простого автоматичного створення окремих елементів до інтелектуальної підтримки повного процесу редагування середовища. У сучасних умовах інтелектуальні методи доцільно розглядати як важливий складник GameDev-процесів, що дає змогу скорочувати обсяг рутинної роботи, підвищувати якість прототипування та зберігати узгодженість складних сцен упродовж усього циклу розробки (Maleki, Zhao, Shaker, 2024; Ткаченко, Мамаєв, 2024, с. 97–109). *Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Проблема автоматизації створення ігрового контенту найповніше розвинулася в межах procedural content generation, де контент розглядається як результат алгоритмічного формування рівнів, просторів, маршрутів, об’єктів і сценарних структур. Такий підхід став теоретичною основою для подальшого переходу до інструментів, що не лише генерують нові елементи, а й підтримують редагування вже створених сцен, зокрема шляхом перебудови простору, варіювання його наповнення та контролю узгодженості структури (Shaker, Togelius, Nelson, 2016).

Подальший розвиток цього напряму пов’язаний із використанням машинного навчання, яке дозволяє системам виявляти патерни в уже створених рівнях і застосовувати їх для генерації або модифікації нового контенту. Це дає можливість будувати рішення не лише на формальних правилах, а й на досвіді попереднього дизайну, що особливо важливо для інтелектуального редагування сцен, де необхідно враховувати жанрові закономірності, композиційні принципи та логіку просторової організації (Summerville et al., 2018; Liu et al., 2021).

Важливе значення для розвитку редакторів нового покоління мають підходи, у яких людина і система взаємодіють у спільному циклі проєктування. У межах таких рішень алгоритм не обмежується технічним виконанням команди, а аналізує стан середовища, реагує на дії користувача та пропонує варіанти перебудови окремих фрагментів сцени. Це дозволяє зберігати творчий контроль за дизайнером і водночас скорочувати обсяг ручної роботи, пов'язаної з перевіркою проходів, логіки розміщення або просторового балансу (Smith, Whitehead, Mateas, 2010; Smith, Whitehead, Mateas, 2011).

Значну увагу в новітніх дослідженнях приділено також поєднанню процедурної генерації з великими мовними моделями та іншими генеративними інструментами. Така інтеграція розширює межі автоматизації, оскільки дозволяє формувати не лише структуру сцени, а й правила її побудови, описи логіки середовища, рекомендації для дизайнера та сценарії адаптивної зміни простору. Унаслідок цього інтелектуальне редагування починає розглядатися не як окремий модуль, а як частина ширшої системи підтримки розробки ігрового контенту (Maleki, Zhao, Shaker, 2024).

В українському науковому просторі також зростає інтерес до застосування штучного інтелекту в розробці ігор. Наявні дослідження підтверджують доцільність використання інтелектуальних алгоритмів для автоматизації створення контенту, адаптації поведінки елементів і оптимізації процесу розробки, однак проблема інтелектуального редагування сцени як цілісного об'єкта потребує подальшої систематизації. (Трофименко та ін., 2025, с. 109–119; Обидало, Пономарьова, 2025, с. 475–477; Ткаченко, Мамаєв, 2024, с. 97–109).

Отже, сучасні дослідження створюють достатню наукову основу для розгляду інтелектуального редагування ігрових сцен як самостійного

напряму, що поєднує procedural generation, машинне навчання, генеративні моделі, оптимізаційні підходи та ко-креативні засоби взаємодії з дизайнером. Разом із тим саме комплексне поєднання цих компонентів у межах редакторського процесу залишається недостатньо систематизованим, що й зумовлює доцільність подальшого дослідження.

Мета статті. Метою статті є дослідження інтелектуальних методів редагування ігрових сцен у середовищах розробки відеоігор, систематизація сучасних підходів до автоматизації аналізу та модифікації сцен, а також визначення переваг, обмежень і перспектив застосування алгоритмів штучного інтелекту в процесі створення ігрового контенту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ігрову сцену доцільно розглядати як багаторівневу цифрову структуру, що включає просторові, функціональні, візуальні та поведінкові компоненти. У сучасних середовищах розробки вона поєднує 3D-об’єкти, матеріали, освітлення, камери, навігаційні вузли, фізичні тіла, тригери, скриптові компоненти, елементи інтерфейсу та аудіовізуальні ефекти. Саме така складна структура зумовлює необхідність переходу від звичайного ручного редагування до інтелектуально підтримуваних засобів, здатних враховувати взаємозалежність усіх елементів сцени (Zhang, 2024; Shaker, Togelius, Nelson, 2016).

Традиційне редагування сцени передбачає ручне розміщення об’єктів, налаштування їх параметрів, організацію ієрархії та перевірку коректності взаємодії. У масштабних проєктах це істотно підвищує трудомісткість розробки та збільшує ризик структурних помилок, перевантаження рендерингу й порушення композиційної цілісності сцени. (Ткаченко, Мамаєв, 2024, с. 97–109).

Інтелектуальні методи редагування ігрових сцен можна визначити як сукупність алгоритмів і програмних засобів, що забезпечують аналіз

поточного стану сцени, автоматичне виявлення проблем, формування рекомендацій і часткову або повну автоматизацію змін у структурі середовища. На відміну від звичайних інструментів редактора, такі методи не обмежуються прямим виконанням команд користувача, а використовують правила, евристики, моделі машинного навчання або генеративні підходи для прийняття рішень щодо розміщення, модифікації чи оптимізації елементів сцени (Summerville et al., 2018; Green et al., 2022, с. 638–645).

У межах цього дослідження інтелектуальні методи редагування сцен доцільно поділити на аналітичні, генеративні, оптимізаційні, адаптивні та змішані. Узагальнення основних груп інтелектуальних методів редагування ігрових сцен подано у таблиці 1.

Аналітичні методи орієнтовані на оцінювання поточного стану сцени та автоматичне виявлення технічних і структурних проблем, зокрема конфліктів колізій, перевантажених зон, помилок навігації чи нераціонального розподілу об’єктів. Їх перевага полягає у швидкому контролі якості сцени та зменшенні обсягу ручної перевірки під час розробки.

Генеративні методи забезпечують створення нових елементів сцени або перебудову вже наявних фрагментів. У простішому варіанті це можуть бути rule-based системи, що працюють за заданими шаблонами або композиційними правилами. У складніших реалізаціях використовуються підходи procedural content generation, завдяки яким середовище або його частина формується на основі параметрів, умов і композиційних обмежень. Це дає змогу швидко створювати варіативні локації, заповнювати порожні зони та підтримувати різноманітність простору без повного ручного опрацювання кожного елемента (Shaker, Togelius, Nelson, 2016; Maleki, Zhao, Shaker, 2024).

Таблиця 1

Класифікація інтелектуальних методів редагування ігрових сцен

Тип методу	Основна функція	Практичне призначення	Переваги	Обмеження
Аналітичні	Аналіз структури сцени та виявлення проблем	Пошук конфліктів колізій, перевантажених зон, помилок навігації, порушень логіки розміщення	Швидка перевірка, зменшення кількості ручних помилок	Не завжди пропонують готовий спосіб виправлення
Генеративні	Автоматичне створення або добудова елементів сцени	Заповнення простору, варіювання локацій, створення альтернативних конфігурацій	Прискорюють прототипування, підвищують варіативність	Можуть давати шаблонні результати
Методи машинного навчання	Виявлення патернів і формування рекомендацій	Підтримка дизайнер-ських рішень, адаптація сцени до жанру або стилю	Ураховують попередній досвід проєктування	Залежні від якості навчальних даних
Оптимізаційні	Пошук найкращої конфігурації за кількома критеріями	Балансування продуктивності, складності, щільності об’єктів і прохідності	Дозволяють покращувати сцену комплексно	Висока обчислювальна складність
Змішані (mixed-initiative)	Спільна робота дизайнера та інтелектуальної системи	Підтримка творчого процесу, пояснювані рекомендації, інтерактивна перебудова сцени	Зберігають творчий контроль людини	Потребують продуманого інтерфейсу та пояснюваності

Методи машинного навчання дозволяють системі вивчати закономірності розміщення об’єктів, структури проходів, логіку зонування та інші особливості вже створених ігрових сцен. Завдяки цьому редактор може не лише перевіряти структуру середовища, а й пропонувати рекомендації, наближені до реальної дизайнерської практики. Особливу цінність тут мають підходи PCGML, які поєднують генерацію й аналіз контенту на основі даних, а не лише на формальних правилах (Summerville et al., 2018; Liu et al., 2021).

Генеративні нейромережеві моделі відкривають додаткові можливості для створення альтернативних конфігурацій простору. Їх застосування дає змогу добудовувати фрагменти сцени, формувати нові варіанти розташування об’єктів або відтворювати стилістично подібні середовища на основі вже існуючих прикладів. Це особливо корисно в ситуаціях, коли розробникові потрібно швидко отримати кілька альтернативних варіантів сцени для подальшого відбору й доопрацювання (Giacomello, Lanzi, Loiacono, 2019).

Оптимізаційні методи спрямовані на пошук найкращої конфігурації сцени за множиною критеріїв. Такими критеріями можуть бути продуктивність, прохідність, складність рівня, композиційна рівновага, щільність об’єктів або зручність взаємодії. У подібних задачах часто застосовують евристичні та еволюційні алгоритми, здатні знаходити прийнятні рішення в умовах багатокритеріальності й великої кількості можливих конфігурацій. Це дозволяє розглядати редактор не лише як інструмент побудови сцени, а і як засіб її цілеспрямованого вдосконалення.

Для формалізації процесу оцінювання ігрової сцени доцільно використовувати інтегральний показник якості, який узагальнює основні критерії побудови та функціонування середовища. Такий підхід дозволяє розглядати сцену як об’єкт багатокритеріальної оптимізації:

$$Q = w_1 \text{Ц} C + w_2 N + w_3 P + w_4 \text{w} V \quad (1)$$

де Q — інтегральна оцінка якості сцени; C — композиційна узгодженість; N— навігаційна зручність; P — продуктивність; V — візуальна цілісність; w1, w2, w3, w4 — вагові коефіцієнти відповідних критеріїв.

Значення вагових коефіцієнтів w1 , w2 , w3 , w4 доцільно визначати не як фіксовані константи, а як адаптивні параметри, що залежать від жанру гри, типу сцени та пріоритетів проєкту. Для цього може бути використано метод зваженої суми критеріїв із попередньою нормалізацією показників, після чого ваги задаються експертно, емпірично або на основі сценарного профілю сцени.

$$\sum_{i=1}^{4} w_i = 1,\ w_i \geq 0 \quad (2)$$

Умова (2) забезпечує коректність багатокритеріального оцінювання та дає змогу інтерпретувати вагові коефіцієнти як відносну важливість окремих критеріїв. Адаптація вагових коефіцієнтів може виконуватися за жанрово-орієнтованим принципом. Наприклад, для ігор з відкритим світом доцільно підвищувати вагу навігаційної зв’язності та продуктивності, для сюжетно-орієнтованих сцен — композиційної узгодженості та візуальної цілісності, а для динамічних бойових арен — прохідності, щільності функціональних об’єктів і швидкості реакції системи на зміни середовища. Таким чином, вагові коефіцієнти виступають не універсальними сталими величинами, а параметрами конфігурації інтелектуального редактора, що можуть бути адаптовані до конкретного сценарію використання. Приклад адаптації вагових коефіцієнтів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Приклад адаптації вагових коефіцієнтів залежно від типу сцени

Тип сцени	w_1композиція	w_2навігація	w_3продуктивність	w_4візуальна цілісність
Відкритий світ	0.20	0.35	0.30	0.15
Сюжетна локація	0.30	0.20	0.15	0.35
Бойова арена	0.20	0.30	0.30	0.20

Наведені значення є прикладом сценарного налаштування ваг і можуть змінюватися залежно від жанру гри, типу сцени та цілей проєкту.

Найбільш перспективними для практичної інтеграції є змішані, або mixed-initiative, системи. У таких системах дизайнер задає загальний задум і контролює ключові рішення, а інтелектуальний модуль пропонує варіанти, реагує на дії користувача та допомагає підтримувати цілісність сцени. Перевага цього підходу полягає в поєднанні автоматизації та творчої свободи, що особливо важливо в GameDev-середовищах, де остаточна якість простору залежить не лише від технічної коректності, а й від художнього бачення та ігрового досвіду (Smith, Whitehead, Mateas, 2010; Smith, Whitehead, Mateas, 2011; Baldwin, Johnson, Wyeth, 2022).

У практиці розробки інтелектуальні методи можуть реалізовуватися як модулі аналізу, генерації, рекомендації та оптимізації. Така модульність спрощує інтеграцію інтелектуальних рішень у сучасні редактори та робить їх більш гнучкими у використанні. Узагальнену логіку взаємодії основних модулів інтелектуального редагування ігрової сцени подано на рис. 1.

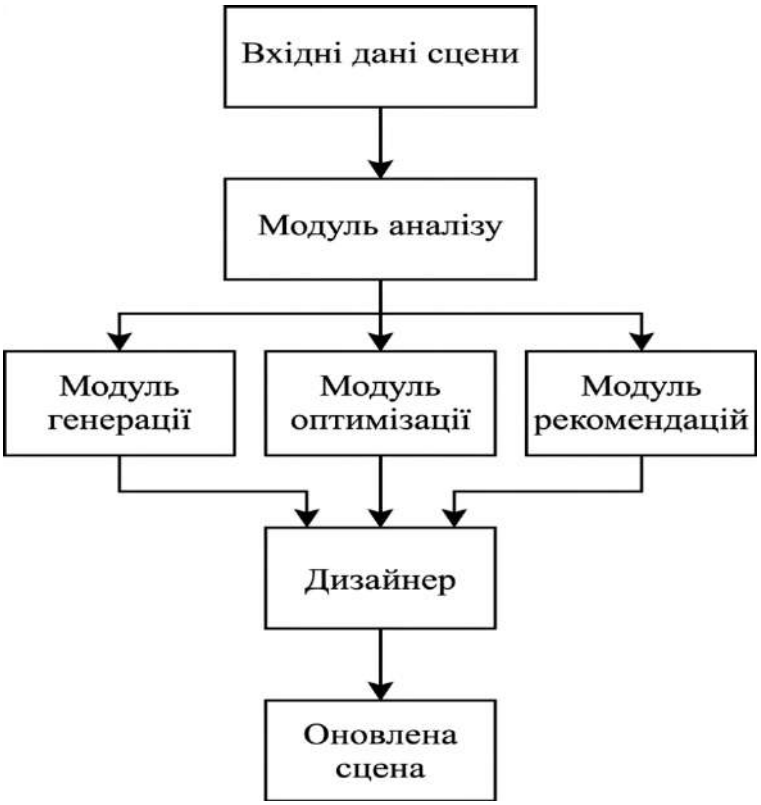


Рис. 1. Узагальнена схема інтелектуального редагування ігрової сцени

Алгоритмічна реалізація інтелектуального редагування сцени може бути подана як послідовність етапів: збір параметрів сцени, формування вектора ознак, аналіз конфліктів і структурних відхилень, генерація допустимих альтернатив конфігурації, багатокритеріальне оцінювання варіантів та вибір рішення з найвищим інтегральним показником якості. У межах модуля аналізу доцільно використовувати перевірку колізій, оцінювання щільності об’єктів, прохідності та навігаційної зв’язності, тоді як модуль рекомендацій може спиратися на rule-based правила, евристичне ранжування або навчання на попередньо розмічених прикладах.

Важливу роль у цьому процесі відіграє структуроване подання даних про сцену. Застосування форматів на зразок JSON дозволяє зберігати конфігурації об’єктів, передавати параметри між підсистемами,

підтримувати шаблони та повторне використання елементів. У результаті інтелектуальне редагування отримує не лише алгоритмічне, а й архітектурне підґрунтя, оскільки ефективність аналітичних і генеративних модулів значною мірою залежить від того, наскільки впорядковано подано інформацію про структуру сцени.

У сучасній практиці розробки відеоігор інтелектуальні методи редагування сцен реалізуються в різних рушіях, серед яких найбільш показовими є Unity та Unreal Engine (Zhang, 2024; Epic Developer Community, 2025). У середовищі Unity такі підходи зазвичай інтегруються через скриптові компоненти, редакторські розширення, системи роботи зі сценами та структуроване подання даних, що забезпечує гнучке налаштування логіки аналізу, модифікації та повторного використання об’єктів сцени (Zhang, 2024). У Unreal Engine аналогічні завдання підтримуються, зокрема, через Procedural Content Generation Framework (PCG), який являє собою вбудований набір засобів для створення процедурного контенту різної складності — від окремих об’єктів і біомів до цілих світів (Epic Developer Community, 2025). Центральним елементом цього підходу є PCG Graph — вузлова графова модель, у якій просторові дані надходять із PCG Component, обробляються через послідовність вузлів, фільтруються, модифікуються та використовуються для розміщення об’єктів у сцені (Epic Developer Community, 2025). Таким чином, Unity демонструє переваги гнучкої скриптової та модульної інтеграції інтелектуальних засобів, тоді як Unreal Engine надає вбудовану графову інфраструктуру для процедурної побудови контенту, що робить доцільним їх порівняльний розгляд у контексті інтелектуального редагування ігрових сцен (Zhang, 2024; Epic Developer Community, 2025).

Порівняльні особливості реалізації інтелектуального редагування сцен у Unity та Unreal Engine наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняльні особливості реалізації інтелектуального редагування сцен у Unity та Unreal Engine

Параметр	Unity	Unreal Engine
Загальний підхід	Скриптова, компонентна та редакторська інтеграція інтелектуальних інструментів	Вбудований Procedural Content Generation Framework (PCG)
Організація процедурної логіки	Кастомні скрипти, редакторські розширення, зовнішні модулі	PCG Graph як вузлова графова модель
Робота з просторовими даними	Залежить від реалізації користувача або використовуваних пакетів	Просторові дані надходять через PCG Component і обробляються системою вузлів
Характер оновлення сцени	Переважно через редакторські або програмні виклики	Модифікація та оновлення результату в межах графової системи
Сильна сторона	Гнучкість і простота інтеграції в різні типи проєктів	Вбудована інфраструктура для масштабної процедурної побудови контенту

Окрему перспективу становить використання навчання з підкріпленням для адаптивної модифікації середовища. У цьому випадку оцінюються не лише статичні характеристики сцени, а й наслідки її змін для проходження, складності, взаємодії або поведінки гравця. Такий підхід відкриває можливість розглядати сцену як адаптивну структуру, здатну змінюватися відповідно до цілей гри або сценаріїв тестування, що є особливо важливим для динамічних ігрових середовищ (Обидало, Пономарьова, 2025, с. 475–477).

Переваги інтелектуального редагування сцен полягають у скороченні тривалості створення контенту, зменшенні кількості рутинних операцій, підвищенні узгодженості середовища та покращенні якості раннього

прототипування. Водночас слід враховувати і певні обмеження: залежність від якості даних, складність формалізації естетичних критеріїв, ризик шаблонності автоматично згенерованих рішень і необхідність збереження творчої ролі людини в проєктуванні. Тому найбільш доцільним підходом є не повна заміна дизайнера, а створення ко-креативних інструментів, що посилюють його можливості в роботі зі складними сценами (Baldwin, Johnson, Wyeth, 2022; Трофименко та ін., 2025, с. 109–119).

Отже, інтелектуальні методи редагування ігрових сцен слід розглядати як комплексний інструментарій, що охоплює аналіз, генерацію, оптимізацію, адаптацію та пояснювану підтримку дизайнерських рішень. Їх інтеграція в сучасні середовища розробки відкриває шлях до створення редакторів нового покоління, здатних одночасно підвищувати ефективність роботи, покращувати якість сцени та зберігати гнучкість творчого процесу.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що інтелектуальні методи редагування ігрових сцен є важливим напрямом розвитку сучасних засобів створення відеоігор. Їх застосування дозволяє поєднати автоматизований аналіз, генерацію, оптимізацію та рекомендаційну підтримку в межах єдиного редакторського процесу, що особливо важливо для складних і багатокомпонентних інтерактивних середовищ (Summerville et al., 2018; Green et al., 2022, с. 638–645). Найбільш ефективними виявляються гібридні підходи, у яких поєднуються rule-based алгоритми, procedural content generation, машинне навчання, генеративні моделі та mixed-initiative взаємодія з користувачем. Саме вони забезпечують баланс між автоматизацією, продуктивністю та збереженням творчого контролю дизайнера над структурою сцени (Smith, Whitehead, Mateas, 2011; Baldwin, Johnson, Wyeth, 2022). Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні жанрово-орієнтованих інтелектуальних редакторів сцен, створенні пояснюваних рекомендаційних модулів для сучасних рушіїв,

поглибленні інтеграції генеративних моделей і навчання з підкріпленням, а також у формалізації естетичних критеріїв якості ігрового простору. Важливим напрямом є також подальший розвиток прикладних досліджень у цій сфері з орієнтацією на практичні інструменти автоматизації GameDev-процесів (Ткаченко, Мамаєв, 2024, с. 97–109; Трофименко та ін., 2025, с. 109–119).

Література

1. Smith G., Whitehead J., Mateas M. Tanagra: A Mixed-Initiative Level Design Tool. *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games.* New York : ACM, 2010. P. 209–216. DOI: 10.1145/1822348.1822376

2. Smith G., Whitehead J., Mateas M. Tanagra: Reactive Planning and Constraint Solving for Mixed-Initiative Level Design. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*. 2011. Vol. 3, No. 3. P. 201–215.

3. Shaker N., Togelius J., Nelson M. J. *Procedural Content Generation in Games*. Cham : Springer, 2016. 238 p.

4. Summerville A., Snodgrass S., Guzdial M., Holmgård C., Hoover A. K., Isaksen A., Nealen A., Togelius J. Procedural Content Generation via Machine Learning (PCGML). *IEEE Transactions on Games. 2018*. Vol. 10, No. 3. P. 257–270. DOI: 10.1109/TG.2018.2846639.

5. Liu J., Snodgrass S., Khalifa A., Risi S., Yannakakis G. N., Togelius J. Deep learning for procedural content generation. *Neural Computing and Applications. 2021.* Vol. 33. P. 19–37. DOI: 10.1007/s00521-021-06103-8.

6. Baldwin A., Johnson D., Wyeth P. Evaluating mixed-initiative procedural level design tools using a triple-blind mixed-method user study. *IEEE Transactions on Games. 2022.* Vol. 14, No. 2. P. 228–239. DOI: 10.1109/TG.2021.3086215.

7. Giacomello E., Lanzi P. L., Loiacono D. DOOM Level Generation using Generative Adversarial Networks. *2019 IEEE Conference on Games (CoG).* London, 2019. DOI: 10.1109/CIG.2019.8848021.

8. Green M. C., Khalifa A., Barros G. A. B., Neff M., Togelius J. Let's Make Games Together: Explainability in Mixed-Initiative Co-Creative Game Design. *2022 IEEE Conference on Games (CoG)*. 2022. P. 638–645. DOI: 10.1109/CoG51982.2022.9893636.

9. Maleki H., Zhao J., Shaker N. Procedural Content Generation in Games: A Survey with Insights on Emerging LLM-Based Methods. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*. 2024. Vol. 20, No. 1. DOI: 10.1609/aiide.v20i1.31877.

10. Zhang J. Research on Virtual Scene Design Methods for Unity3D Games. *Proceedings of the 3rd International Conference on Art Design and Digital Technology*. 2024. DOI: 10.4108/eai.24-5-2024.2350033.

11. Procedural Content Generation Framework in Unreal Engine. Epic Developer Community. URL: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/procedural-content-generation--framework-in-unreal-engine

12. Трофименко О. Г., Дика А. В., Лобода Ю. В., Толокнов А. М., Бондаренко М. В. Алгоритми штучного інтелекту в розробці ігор. *Кібербезпека:* освіта, наука, техніка. 2025. Т. 3, № 27. С. 109–119. DOI: 10.28925/2663-4023.2025.27.701.

13. Обидало О. С., Пономарьова С. В. Використання штучного інтелекту в ігрових застосунках. У кн.: *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму, 16–19 квітня 2025 р.* Харків : ХНУРЕ, 2025. Т. 6. С. 475–477.

14. Ткаченко О., Мамаєв А. Використання штучного інтелекту під час формування простору комп'ютерних ігор. *Цифрова платформа:*

інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2024. Т. 7, № 1. С. 97–109. DOI: 10.31866/2617-796X.7.1.2024.307012.

References

1. Smith, G., Whitehead, J., & Mateas, M. (2010). Tanagra: A mixed-initiative level design tool. In *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games* (pp. 209–216). New York: ACM. https://doi.org/10.1145/1822348.1822376

2. Smith, G., Whitehead, J., & Mateas, M. (2011). Tanagra: Reactive planning and constraint solving for mixed-initiative level design. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 3(3), 201–215.

3. Shaker, N., Togelius, J., & Nelson, M. J. (2016). *Procedural content generation in games.* Cham: Springer.

4. Summerville, A., Snodgrass, S., Guzdial, M., Holmgård, C., Hoover, A. K., Isaksen, A., Nealen, A., & Togelius, J. (2018). Procedural content generation via machine learning (PCGML). *IEEE Transactions on Games*, 10(3), 257–270. https://doi.org/10.1109/TG.2018.2846639

5. Liu, J., Snodgrass, S., Khalifa, A., Risi, S., Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2021). Deep learning for procedural content generation. *Neural Computing and Applications*, 33, 19–37. https://doi.org/10.1007/s00521-021-06103-8

6. Baldwin, A., Johnson, D., & Wyeth, P. (2022). Evaluating mixed-initiative procedural level design tools using a triple-blind mixed-method user study. *IEEE Transactions on Games, 14(2)*, 228–239. https://doi.org/10.1109/TG.2021.3086215

7. Giacomello, E., Lanzi, P. L., & Loiacono, D. (2019). DOOM level generation using generative adversarial networks. In 2019 *IEEE Conference on Games (CoG)*. https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8848021

8. Green, M. C., Khalifa, A., Barros, G. A. B., Neff, M., & Togelius, J. (2022). Let's make games together: Explainability in mixed-initiative co-creative game design. In 2022 *IEEE Conference on Games (CoG)* (pp. 638–645). https://doi.org/10.1109/CoG51982.2022.9893636

9. Maleki, H., Zhao, J., & Shaker, N. (2024). Procedural content generation in games: A survey with insights on emerging LLM-based methods. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, 20(1)*. https://doi.org/10.1609/aiide.v20i1.31877

10. Zhang, J. (2024). Research on virtual scene design methods for Unity3D games. *In Proceedings of the 3rd International Conference on Art Design and Digital Technology*. https://doi.org/10.4108/eai.24-5-2024.2350033

11. Epic Developer Community. (2025). Procedural Content Generation Framework in Unreal Engine. Retrieved from https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/procedural-content-generation--framework-in-unreal-engine

12. Trofymenko, O. H., Dyka, A. V., Loboda, Yu. V., Toloknov, A. M., & Bondarenko, M. V. (2025). Alhorytmy shtuchnoho intelektu v rozrobtsi ihor [Artificial intelligence algorithms in game development]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika, 3(27),* 109–119. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.27.701

13. Obydalo, O. S., & Ponomarova, S. V. (2025). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v ihrovykh zastosunkakh [Use of artificial intelligence in gaming applications]. In *Radioelektronika ta molod u XXI stolitti: materialy 29-ho Mizhnarodnoho molodizhnoho forumu* (Vol. 6, pp. 475–477). Kharkiv: KhNURE

14. Tkachenko, O., & Mamaiev, A. (2024). Vykorystannia shtuchnoho intelektu pid chas formuvannia prostoru kompiuternykh ihor [The use of artificial intelligence in shaping the space of computer games]. *Tsyfrova platforma: informatsiini tekhnolohii v sotsiokulturnii sferi*, 7(1), 97–109. https://doi.org/10.31866/2617-796X.7.1.2024.307012

Строков Ігор Васильович, кандидат юридичних наук, доцент, професор кафедри соціально-гуманітарних дисциплін факультету забезпечення державної безпеки, Київський інститут Національної гвардії України, м. Київ, https://orcid.org/ 0009-0004-8328-8739

Strokov Igor, Candidate of Law sciences (PHD in law), Associate Professor, Professor of the Department of Social, Humanitarian and Legal Disciplines, Kyiv Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, https://orcid.org/0009-0004-8328-8739

СУЧАСНІ ТРЕНДИ ПОЛІТИКИ МІЖНАРОДНОЇ БЕЗПЕКИ

CURRENT TRENDS IN INTERNATIONAL SECURITY POLICY

Анотація

Протягом всієї історії розвитку людства постійно відбуваються чергування соціальної-економічних формацій, розширюються процеси соціальної та культурної інтеграції народів, створюються нові форм організації народів та формуються засади спільного існування. Аналіз історичного розвитку держав та народів, доводить, що історичні зміни в Європі, що відбувалися протягом XV-XVII століть, надали можливість створення умов для формування нових соціально-економічних умов розвитку нових взаємовідносини між народами та країнами, створюють нові політичні погляди на спільне співіснування та закладають засади міжнародних відносинам.

Народи світу пройшли довгий та складний шлях до розуміння необхідності визначення змісту та засад співіснування на спільній території

та розуміння щодо необхідності налагодження різних форм взаємодії у всіх сферах спільного існування. Одним з головних досягнень людства в міжнародних відносинах було визначення основних засад міжнародної взаємодії та одного з головних принципів взаємовідносин між державами – принципу національного суверенітету.

Водночас, сучасний світ та взаємовідносини між країнами постійно змінюються в залежності від багатьох чинників, до яких слід віднести: історичні етапи розвитку людства, політика держави та цінності, які переважають в суспільстві, погляди на спільне існування та інші. У залежності вказаних чинників формується зміст таких взаємовідносини між країнами як на регіональному, так й на глобальному рівнях.

Проведений автором аналіз результатів інтеграційних процес світового масштабу доводить, що зміни соціально-економічних формацій призводить до змін у міжнародній політичній системі та створення нових форм міжнародної взаємодії. Нові форми міжнародної взаємодії створюють нові поняття в міжнародних відносинах: «геополітичні інтереси», «національні інтереси», «національна безпека», які стають складовими нового для міжнародних відносини терміну - «світовий порядок».

Кожна держава, дотримуючись національних пріоритетів та забезпечуючи реалізацію геополітичних інтересів, визначає засади зовнішньої політики, та вступаючи у взаємодію з інтересами інших держава створюють поняття – світовий порядок, яке є змінною категорією.

Слід врахувати, що сучасні особливості розвитку міжнародних відносин, на які суттєво впливають інтеграційні процеси між державами, технічний прогрес та розвиток науки, що прискорює економічний розвиток, процеси світової глобалізації. Водночас, такі процеси мають не лише позитивні наслідки, а також створюють нові сфери протиріч, конфліктів та небезпеки в міжнародних відносинах. Така ситуація підкреслює важливість

вивчення та проведення перспективного аналізу можливих тенденцій розвитку міжнародних відносин, що може надавати можливості передбачати негативні наслідки для окремої держави, я також для світової спільноти в цілому. Прогнозування тенденцій розвитку міжнародних відносин надає можливості визначати засади внутрішньої та зовнішньої політики держав, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків.

Сучасні тенденції розвитку міжнародних відносин потребують вивчення та аналізу, що може надати можливості передбачити негативні наслідки окремих тенденцій розвитку взаємодії та вжиття засобів впливу, спрямованих на уникнення проблем та протирічь між державами, забезпечення національної та міжнародної безпеки.

Ключові слова. Міжнародні відносини, міжнародна безпека, колективна безпека, глобалізація.

Abstract

Throughout human history, there has been a constant succession of socio-economic formations, an expansion of the processes of social and cultural integration among peoples, the emergence of new forms of social organization, and the establishment of the foundations for coexistence. An analysis of the historical development of states and peoples demonstrates that the historical changes in Europe that took place during the 15th–17th centuries created the conditions for the formation of new socio-economic conditions, the development of new relationships between peoples and countries, the emergence of new political perspectives on coexistence, and the establishment of the foundations of international relations.

The peoples of the world have traveled a long and difficult path toward understanding the need to define the content and foundations of coexistence within a shared territory and the necessity of establishing various forms of interaction in

all spheres of coexistence. One of humanity's major achievements in international relations has been the definition of the fundamental principles of international interaction and one of the key principles of relations between states—the principle of national sovereignty.

At the same time, the modern world and relations between countries are constantly changing depending on many factors, including: historical stages of human development, state policy, prevailing societal values, views on coexistence, and others. Depending on the views held by a participant in international relations regarding interaction with other participants, the nature of such relations between countries is shaped at both the regional and global levels.

The author's analysis of the results of global integration processes demonstrates that changes in socio-economic formations lead to changes in the international political system and the creation of new forms of international interaction. New forms of international interaction give rise to new concepts in international relations: "geopolitical interests," "national interests," and "national security," which become components of a term new to international relations — "world order."

Each state, in accordance with its national priorities and in pursuit of its geopolitical interests, defines the principles of its foreign policy; and as these states interact with one another, they give rise to the concept of the world order, which is a fluid category.

It should be noted that the current characteristics of the development of international relations are significantly influenced by integration processes between states, technological progress, and scientific advancements that accelerate economic development, as well as the processes of global globalization. At the same time, such processes have not only positive consequences but also create new areas of conflict, tension, and danger in international relations. This situation underscores the importance of studying and conducting a forward-looking analysis

of potential trends in the development of international relations, which can provide opportunities to anticipate negative consequences for individual states as well as for the global community as a whole. Forecasting trends in the development of international relations enables the determination of the foundations of states' domestic and foreign policies aimed at minimizing negative consequences.

Current trends in the development of international relations require study and analysis, which can provide opportunities to anticipate the negative consequences of certain trends in the development of cooperation and to implement measures aimed at avoiding problems and conflicts between states, as well as ensuring national and international security.

Keywords: international relations, international security, collective security, globalization.

Постановка проблеми. Трансформація та глобалізація міжнародних відносин – це складні процеси взаємодії держав та інших учасників міжнародних відносин, що змінюють політичну, економічну й культурну взаємодію через посилення взаємозалежності, технологічний прогрес та транскордонні потоки інформації, капіталів і міграції, що призводить до нових форм співпраці, конфліктів, викликів безпеці та перегляду ролі національних держав у світовому порядку.

На сучасному етапі розвитку людства, важливим питанням постає вивчення тенденції розвитку міжнародних відносин, а також розвитку держави окремо. Внутрішня та зовнішня політика окремої держави, за певних умов, може суттєво впливати на міжнародні відносини та створювати проблеми для міжнародної безпеки. Отже, тенденції розвитку міжнародних відносин потребують аналізу та визначення. Результати такого аналізу можуть ефективно використовувати з метою протидії негативним тенденція та усунення глобальних проблем розвитку.

Сучасні методології вивчення суспільних відносин надають можливість створювати перспективні аналізи розвитку та визначати засади протидії можливим негативним тенденція, що є важливим для формування політики міжнародної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми сучасних міжнародних відносинах та аналізу тенденцій їх розвитку, а також розширення зон протирічь та міжнародних конфліктів розглядалися в роботах А.А. Гриценка, Ю.О. Загуменової, Є.М. Нікіпелової, О.В. Кришеня, В.В. Коби, Ю.М. Панфілової, Т.В. Орлової, Г.П. Ситника, В.В. Сокуренка та інших авторів. У наукових працях звертається увагу на зміну в сутності та природі загроз, з якими стикається всі більшість країни світу, акцентуючи увагу на економічних, екологічних, ідеологічних та соціальних проблем, які суттєво впливають на міжнародні відносини та є визначальними у зовнішньої політики держав.

Мета статті - проведення аналізу сучасних досліджень щодо тенденцій розвитку міжнародних відносинах та системи міжнародної безпеки та застосування їх результатів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першою конкретно-історичною моделлю світової політики безпеки була система „балансу сил", що існувала з середини XVII століття (укладання Вестфальського миру) до закінчення Першої світової війни (1918 рік).

Система балансу сил – це концепція побудови взаємовідносин з іншими державами, коли створювалися умови, за яких одна держава або коаліція держав не можуть домінувати над іншими. Така система мала за головну та організаційну мету забезпечити реалізацію принципу рівноваги сил, який за допомогою різноманітних міжнародних заходів, що застосовувалися державами, дипломатичні взаємовідносини, створення альянсів (об'єднань) держав, превентивними війнами, тощо та така система

створила б багатополярність в міжнародних відносинах, визначала «великі держава», які мали б вплив на світову політику та інші країни, з метою забезпечення своїх інтереси.

Головною ідеєю концепції «балансу сили» – вжиття заходів, спрямованих на запобігання появі гегемона, який би завдяки впливу та могутності може нав'язувати свою волю іншим країнам. Тому суттєві зміни у системі балансу сил або різке посилення одного чи кількох учасників системи створює загрозу для безпечного існування інших. У цієї концепції дії правила – зростання силового потенціалу однієї держави для посилення свої безпеки може призводити до її сприйняття іншими як зростання небезпеки для них [1, С. 191].

Система балансу сил з її принципом рівноваги акторів міжнародних відносин спонукала до спроб вирішувати міжнародні спори та конфлікти шляхом введення загальновизнаних і фіксованих правил взаємовідносин та забезпечувати їх регулювання на основі міжнародних договорів та угод. Ця система стала базисом, для формування системи колективної безпеки.

Формування нових поглядів на існування країн та їх економічний розвиток призводив до зміни політичних поглядів на систему балансу сил. Характерним для взаємовідносин між країнами Європи наприкінці XIX та початку XX століть стає прагнення поширення впливу одних країни на інші на континенті та боротьба за території впливу на інших континентах (так звана колоніальна політика). Протидія між державами призводить до створення військово-політичних об'єднань країн – Троїцького союзу та Антанти, метою яких було протидія поширенню впливу протилежних країн та можливості вирішення спірних (в основному територіальних) питань на підставі сили.

Отже, для Європи на цьому історичному періоді характерно для створення коаліцій держав, що фактично заклало основи блокової системи безпеки.

Після першої світової війни відбуваються спроби відійти від такої моделі міжнародної безпеки та створити універсальну систему безпеки, в якої були б задіяно більшість держав світу та визначити правила безпечного існування. Але, для реалізації таких намірів виникало багато світових проблем, які не завжди вдавалося вирішувати дипломатичними методами та шляхом домовленостей, тому що існували значні розбіжностей в поглядах на спільне існування та національні інтереси. Такі прагнення призвели появі такого поняття, як колективна безпека.

Першою організацією колективної безпеки була Ліга Націй, яку створено після першої світової війни. Статут Ліги Націй врахував всі засади домовленостей та положення всіх післявоєнних мирних договорів та визначив структуру, яка змогла б забезпечити прагнення до безпечного, мірного співіснування держав. Країни-учасники взяли на себе зобов'язання захищати один одного у разі нападу будь-якої іншої держави. Система колективних заходів безпеки визначала напрямки діяльності: заборону погрози силою або її застосування у відносинах між країнами; мирне розв'язання міжнародних суперечок, засоби роззброєння; засоби забезпечення безпеки у перехідний період; засоби з використання регіональних організацій безпеки; тимчасові засоби, спрямовані на те, щоб покласти край порушенням миру; примусові засоби без застосування збройних сил та примусові засоби із застосуванням збройних сил. Розвиток такої системи колективної безпеки перервала друга світова війна, яка стала наслідком порушення балансу сил в Європі та остаточно визначила ідеологічний аспект міжнародних відносин – появу двох протилежних ідеологій існування країн світу.

Після другої світової війни розпочалася чергова спроба держав здійснити трансформацію міжнародних відносин та встановити світовий порядок, який тримався б на певних засадах. У 1945 році, коли остаточно сформувалося бачення закінчення другої світової війни, Велика Британія, США та Радянський Союз, розпочали проводити зустрічі з обговорення питань післявоєнної системи міжнародних відносин. Але, узгоджені дії щодо створення світового порядку та засад міжнародних відносин тривали лише декілька років. Розбіжності в ідеологіях держав та погляди на подальший розвиток міжнародних відносин між учасниками вказаних вище конференцій не сприяли досягненні принципових домовленостей та з часом збільшували конфронтації між ними.

Водночас, загострення ідеологічних протирічь між СРСР та іншими країнами антигітлерівської коаліції призвело до необхідності вирішення безпекових питань країн Європи та у березні 1948 року був укладений Брюссельський пакт між Бельгією, Великою Британією, Люксембургом, Нідерландами і Францією, який пізніше ліг в основу «Західноєвропейського союзу». Підписання Брюссельського пакту було відповіддю на події у Чехословаччині (лютий 1948 р.), коли Комуністична партія Чехословаччини за підтримки СРСР остаточно захопила владу, встановивши комуністичний тоталітарний режим. Така ситуація створила передумови об'єднання країн Європи, які не були окуповані Радянським Союзом, та появі у 1949 військово-політичного союзу - Організації Північноатлантичного договору.

Причиною утворення НАТО була агресивна політика Радянського Союзу, який мав намір повністю зберегти свій вплив на розвиток держав Європи та свої збройні сили в країнах Центральної та Східної Європи та кранам нав'язувалися недемократичні форми врядування, жорстоко придушувалися будь-які прояви опозиції, зневажались елементарні права людини, громадянські права і свободи.

У відповідь на утворення НАТО у 1955 році було створено Організацію Варшавського договору (ОВД) – договір про дружбу, співробітництво та взаємну допомогу (військову організацію), у яку Радянський Союз фактично затягнув у країни східної та Центральної Європи: Албанію, Болгарію, Східну Німеччину, Польщу, Румунію, Угорщину та Чехословаччину, що було створено як противагу НАТО та забезпечення безпеки соціалістичних країн.

Протистояння двох об'єднань країн у майбутньому отримало назву – біполярна система світового порядку, якої було притаманні специфічні ознаки: країни світу остаточно поділилися на дві частини в залежності від ідеологічних поглядів на формування та існування державного режиму; ідеологічні протиріччя між більш впливовими країнами щодо поглядів розвитку світу призвели до появі нових геополітичних суперечностей між країнами; ідеологічні суперечності здійснювалося із застосуванням невійськових та нетрадиційних (насамперед інформаційних) засобів протистояння, що було підґрунтям формування поняття «інформаційне протистояння» та в майбутньому «інформаційна війна»; активне суперництво між країнами відбувалося на території «третіх» держав, які підпадали під вплив держав такого чи іншого табору та визначили нивий тренд у міжнародній політиці «формування сфер впливу»; усвідомлення небезпеки глобальної ядерної війни та її наслідків, не дали змоги розгорнути військові активи у світовому масштабі [2, С.48].

Отже, міжнародні відносини середини та другої половини XX століття характеризуються гострим протистоянням двох поглядів на існування людини в суспільстві, на утворення на існування і розвиток держави, які мали історичну назву «капіталізм» та «соціалізм».

Кінець XX століття характеризувався закінченням етапу поширення радянської (соціалістичної) ідеології та протистояння між двома

ідеологічними системами, а також поширенням демократичних поглядів на політику існування держави та особи. Отже, цей період розвитку людства можна оцінити позитивно та були створені різні механізми, які мінімізували ймовірність виникнення глобальної (світової війни) [3, С.8].

Руйнування біполярної системи міжнародних відносин та епохи ідеологічних протирічь не усунило всіх проблем в міжнародних відносинах та не ліквідувало глобальне протистояння між блоками держав. Протистояння між державами ще більш загострилися у зв'язку з появою нових проблем: конкуренція доктрин і стратегій, боротьби за домінування у світі та сфери впливу, прагнення нових країн до домінуванню у світі та створення зон впливу.

На початку XXI століття міжнародні відносини перейшли в новий етап трансформації, реальністю якого є реставрація великодержавного, імперського типу геополітичної свідомості, який поєднує ідеал державного розвитку у вигляді створення "великих імперій" та механізмів їхнього домінування над «середніми» та «малими» державами, а також недержавними політичними силами [4, С.250]. Отже, визначальним трендом трансформації системи міжнародних відносин XXI століття є поступове формування багатополюсної системи в умовах зростаючого глобального хаосу. З цим трендом пов'язані інші, не менш важливі тенденції, особливо в контексті російсько-української війни та їх значення для забезпечення глобальної і національної безпеки України [3 , С.8].

Закінчення біполярної системи призводить до появі нових центрів впливу та фактичне формування багатополярної системи безпеки. Багатополюсна система безпеки (або багатополярність) — це система світового устрою, де існує **кілька (більше двох) потужних центрів сили** (держав чи блоків), які мають приблизно рівний військовий, економічний та політичний вплив, на відміну від однополярної (одна

наддержава) чи біполярної (дві наддержави) систем. Вона передбачає розподіл влади між багатьма міжнародними акторами, що ускладнює домінування одного полюса впливу. Така конструкція є незрівнянно складнішою і потенційно небезпечнішою, ніж світ, що рівняється на однин або два центри впливу [5, С.231].

Поступове формування багатополярної системи міжнародних відносин призводить до загострення протирічь в багатьох сферах міжнародної взаємодії, появі нових сфер протиріч та конфліктів: за сфери впливу, за ресурси, можливості забезпечення національного економічного зростання, що породжує нові проблеми враховуючи аспект виживання та власної безпеки.

Сучасні міжнародні відносини характеризуються турбулентністю та напругою в зовнішніх відносинах між державами, зокрема, політичних, економічних, ідеологічних та інших сферах взаємодії. Існуюча система міжнародних відносин та її безпековий простір, не витримавши гібридних викликів і загроз XXI століття, нині переживають фундаментальну трансформацію. Це, в свою чергу, призвело формування нової глобальної архітектури безпекового простору і середовища міжнародних відносин [6, С.47]. У XXI столітті спостерігаємо процеси формування нового світового порядку, вихід на міжнародну арену нових «гравців» та формування нових зв'язків між державами в міжнародних відносинах [7, С.136].

Один з найвпливовіших світових лідерів - Президент Фінляндії Александр Стубб, оцінює сучасний стан міжнародних відносин як кризу ліберального порядку та зростання мультиполярности. В однієї зі своїх статей він зазначає, що світові новини переповнені конфліктами та трагедіями. Росія бомбардує Україну, Близький Схід кипить, а в Африці вирують війни. Зі зростанням конфліктів, схоже, демократії занепадають. Епоха після холодної війни закінчилася. Попри надії, що виникли після

падіння Берлінської стіни, світ не об'єднався, прийнявши демократію та ринковий капіталізм. Дійсно, сили, які мали об'єднати світ — торгівля, енергетика, технології та інформація — тепер розривають його на частини [8].

Ураховуючи зазначене можна окреслити головні тренди сучасних міжнародних відносин: руйнування системи міжнародних інституцій, які встановлювали та забезпечували виконання міжнародних зобов'язань, а також системи міжнародного права та перехід силових способі вирішення конфліктів; зростання впливу великих держав на регіони та проведення агресивної зовнішньої політики: розширення агресивних способів поширення впливу: економічні кризи, торгівельні війни, епідемії, військові конфлікти, наслідки яких стають надто відчутними тощо; загострення територіальних протирічь між державами, які стають причинами міжнародних конфліктів.

Ураховуючи зростаючу кількість протиріч між державами світи сучасна система міжнародної безпеки потребує нових підходів до визначення теоретичних засад щодо обґрунтування її існування, нових механізмів забезпечення безпеки та формування системи гарантій та способів їх реалізації з метою забезпечення безпечного існування держав та народів.

Висновки. Сучасні міжнародні відносини характеризуються складними процесами взаємодії між їх учасниками, зростанням напруженості в стосунках держав та народів, появі нових проблем, які обумовлені особливостями соціально-економічного та культурного розвитку країн та народів, а також поширенням свого впливу на інші території та боротьбою за домінування у світі. Такі тенденції світового співіснування держав та народів у майбутньому будуть впливати на сутність за зміст міжнародних відносин та формування поглядів та засад на безпекове існування.

Загострення проблем у міжнародних відносинах та виникнення значних протиріч між державами як а світовому, так й на регіональному рівні, вимагають розроблення нових підходів до визначення нових засад створення систем міжнародної та регіональної безпеки, з урахуванням відповідних викликів та загроз, притаманним різним регіонам.

Література

1. Сергій Кононенко. Міжнародні відносини та їх системи. URL: https://ipiend.gov.ua/wp-content/uploads/2018/08/kononenko_mizhnarodny.pdf (дата звернення 04.02.2026)

2. Дронов В. Ю., Мамонтова Е.В. Політичні концепції формування та реалізації міжнародних відносин : навч.-метод. посіб. Видання 2-ге переробл. та допов. Одесса. НУ «Одеська юридична академія». 2024. 151 с.

3. Ситник Г., Таран Є. Основні тренди трансформації системи міжнародних відносин (світоустрою) // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: національна безпека. К. 2024. № 2. С. 5-12

4. Павленко Д.Г., Семенюк Ю.В., Лисецький Ю.М. Міждержавні протистояння. Нові реалії. // Держава і право: збірник наукових праць. Серія: Політичні науки. К., 2021. № 89. С. 249–257.

5. Орлова Т.В. Історія сучасного світу : навч.посібн. К. Знання, 2006. 551 с.

6. Семенюк Є.В.. Трансформація міжнародних відносин та розвідувальна діяльність. URL: https://journals.uran.ua/milstratech/article/view/342382/330288 (дата звернення 04.02.2026).

7. Наталія Матвійчук. Тенденції глобального розвитку та їх вплив на сучасні міжнародні відносини. *Історико-політичні проблеми сучасного світу: Збірник наукових статей*. Чернівці. 2023. № 47. С. 134-141.

8. Останній шанс Заходу. Як побудувати новий світовий порядок, поки не стало надто пізно, — Стубб для Foreign Affairs // URL: https://texty.org.ua/fragments/116429/ostannij-shans-zaxodu-yak-pobuduvaty-novyj-svitovyj-poryadok-poky-ne-stalo-nadto-pizno-stubb-dlya-foreign-affairs/

References

1. Serhii Kononenko S. (2018). Mignarodny vidnosinu ta ix sistemi [International Relations and Their Systems]. URL: https://ipiend.gov.ua/wp-content/uploads/2018/08/kononenko_mizhnarodny.pdf (accessed on 04.02.2026) [in Ukrainian].

2. Dronov V. Yu., Mamontova E.V. (2024). Politichni koncepcii formuvannya ta realizacii mignarodnich vidnosin [Political concepts of the formation and implementation of international relations]. Odessa Law Academy National University. 151 p. [in Ukrainian].

3. Sytnik G., Taran E. (2024). Osnovni tendencii transformacii mignarodnich vidnosin (svitiustriy) [Main trends in the transformation of the system of international relations (world order)} // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: National Security. Kyiv. No. 2. pp. 5-126. [in Ukrainian].

4. Pavlenko D.G., Semenyuk Y.V., Lisetsky Y.M. (2021). Migdergavne protistoyannya. Novi reali [Inter-state confrontations. New realities]. State and law: collection of scientific works. Series: Political sciences. Kyiv. No. 89. P. 249–257. [in Ukrainian].

5. Orlova T.V. (2006). Istoriya suchasnogo svitu [History of the modern world: textbook]. Kyiv: Znannya. 551 p. [in Ukrainian].

6. Semenyuk, E.V. (2026). Transformaciya mignarodnich vidnosin ta rozviduvalna diyalnist [Transformation of international relations and intelligence activities]. URL: https://journals.uran.ua/milstratech/article/view/342382/330288 (accessed 04.02.2026). [in Ukrainian].

7. Natalia Matviychuk. (2023). Tendenciy globalnogo rozvitku ta ich vpliv na suchasni mignarodni vidnosini [Global Development Trends and Their Impact on Contemporary International Relations]. Historical and Political Problems of the Modern World: Collection of Scientific Articles. Chernivtsi. No. 47. P. 134-141. [in Ukrainian].

8. Ostanni shans Zapadu. Yak pobuduvati noviy svitoviy poryadok, pori ne stalo pizno — Stubb for Foreign Affairs [The West's last chance. How to build a new world order before it's too late — Stubb for Foreign Affairs] // URL: https://texty.org.ua/fragments/116429/ostannij-shans-zaxodu-yak-pobuduvaty-novyj-svitovyj-poryadok-poky-ne-stalo-nadto-pizno-stubb-dlya-foreign-affairs/

Сюсюкан Юрій Миколайович, старший викладач, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, Запоріжжя, Україна, ORCID: https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5539-2449

Siusiukan Yurii Mykolaiovych, senior teacher, Bogdan Khmelnitsky Melitopol, State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine, ORCID: https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5539-2449

ФАСИЛІТАТОРСЬКА РОЛЬ ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ В УМОВАХ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ

FACILITATORIAL ROLE OF A PHYSICS TEACHER IN THE CONDITIONS OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL

Анотація

У статті здійснено теоретико-методологічну концептуалізацію фасилітаторської ролі вчителя фізики в умовах імплементації стандартів Нової української школи (НУШ). На основі аналізу психолого-педагогічного дискурсу уточнено сутність поняття «фасилітація навчання» як процесу створення сприятливого освітнього середовища, що активізує пізнавальну діяльність учнів і забезпечує їхню суб’єктну позицію в навчанні. Обґрунтовано детермінуючу роль фасилітації у підвищенні якості фізичної освіти, посилення індивідуалізації навчання та розвиток дослідницьких умінь. Виокремлено ключові дескриптори вчителя-фасилітатора: здатність до проєктування стимулюючого освітнього простору, організація продуктивної навчальної взаємодії, підтримка навчальної автономії учнів, актуалізація їхньої внутрішньої мотивації до вивчення фізики та інших

природничих дисциплін. Доведено, що в умовах компетентнісної парадигми відбувається трансформація професійної ролі вчителя фізики — від транслятора готових знань до модератора освітнього процесу, наставника та партнера у пізнанні. Визначено комплекс педагогічних умов ефективної реалізації фасилітаторської функції, серед яких: інтеграція цифрових технологій у навчальний процес, використання методів проблемно-орієнтованого та дослідницького навчання, створення ситуацій успіху для кожного учня, розбудова суб'єкт-суб'єктної взаємодії на засадах педагогіки партнерства. Особливу увагу приділено рефлексії та зворотному зв'язку як інструментам підтримки навчального прогресу. Обґрунтовано, що фасилітаторський підхід корелює з розвитком ключових soft skills учнів: критичного мислення, креативності, комунікативності, відповідальності за власні результати навчання. Формування фасилітаторської компетентності вчителя є важливим складником його неперервного професійного розвитку та необхідною умовою успішного реформування середньої освіти. Наведено приклади практичного застосування фасилітаторського підходу у викладанні фізики.

Ключові слова: фасилітація; вчитель фізики; фасилітатор; Нова українська школа; мотивація; soft skills.

Abstract

The article provides a theoretical and methodological conceptualization of the facilitator role of a physics teacher in the context of the implementation of the standards of the New Ukrainian School (NUS). Based on the analysis of psychological and pedagogical discourse, the essence of the concept of "facilitation of learning" as a process of creating a favorable educational environment that activates students' cognitive activity and ensures their subjective position in learning is clarified. The determining role of facilitation in improving

the quality of physical education, increasing the individualization of learning, and developing research skills is substantiated.

Key descriptors of a teacher-facilitator are identified: the ability to design a stimulating educational space, organize productive educational interaction, support students' educational autonomy, and actualize their internal motivation to study physics and other natural sciences. It is proven that in the conditions of the competency paradigm, the professional role of a physics teacher is transformed - from a translator of ready-made knowledge to a moderator of the educational process, a mentor, and a partner in cognition.

A set of pedagogical conditions for the effective implementation of the facilitator function has been identified, including: integration of digital technologies into the educational process, use of problem-based and research-based learning methods, creation of success situations for each student, development of subject-subject interaction on the principles of partnership pedagogy. Particular attention is paid to reflection and feedback as tools for supporting educational progress.

It is substantiated that the facilitatory approach correlates with the development of key soft skills of students: critical thinking, creativity, communication, responsibility for their own learning outcomes. The formation of a teacher's facilitatory competence is an important component of his continuous professional development and a necessary condition for the successful reform of secondary education. Examples of the practical application of the facilitatory approach in teaching physics are given.

Keywords: facilitation; physics teacher; facilitator; New Ukrainian School; motivation; soft skills.

Постановка проблеми. Реформування загальної середньої освіти в Україні в контексті впровадження концепції Нової української школи

(НУШ) зумовлює суттєві зміни у цілях, змісті та організації освітнього процесу. Одним із ключових орієнтирів НУШ є перехід від знаннєво-орієнтованої моделі навчання до компетентнісної, що передбачає активну участь учнів у навчанні, розвиток критичного мислення, уміння працювати в команді, самостійно здобувати знання та застосовувати їх у практичних ситуаціях. За таких умов трансформується й професійна роль учителя, зокрема вчителя фізики, який дедалі частіше виступає не лише як носій знань, а як фасилітатор навчального процесу.

Фізика як навчальний предмет має значний потенціал для формування ключових і предметних компетентностей, однак її традиційне викладання часто ґрунтується на репродуктивних методах навчання, що обмежує пізнавальну активність учнів і знижує їхню мотивацію. Упровадження фасилітаторського підходу у викладанні фізики потребує переосмислення педагогічних стратегій, методів і форм роботи, спрямованих на створення партнерської взаємодії між учителем і учнями, підтримку навчальної автономії та розвиток дослідницьких умінь школярів.

Незважаючи на зростаючий інтерес науковців і практиків до проблематики фасилітації в освіті, питання фасилітаторської ролі вчителя фізики в умовах Нової української школи залишається недостатньо дослідженим. Зокрема, потребують уточнення сутність і зміст фасилітаторської діяльності вчителя фізики, педагогічні умови її ефективної реалізації та вплив на результати навчання учнів. Це зумовлює актуальність обраної теми та необхідність подальшого наукового осмислення зазначеної проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фасилітатор (від англ. facilitate — полегшувати, сприяти) — одна з ключових ролей учителя в НУШ, закріплена в нормативних документах: Концепція НУШ (2016) [6],

Закон «Про освіту» (2017) [5], Профстандарт учителя (Наказ №1225, 2024) [9], порадник для вчителя (2017) [7].

Проблематика фасилітаторської ролі активно досліджується у зв'язку з переходом до компетентнісної моделі. Українські науковці наголошують на зміні позиції вчителя з транслятора на організатора, наставника та партнера.

О.В. Бондаренко аналізує ролі ментора, модератора, фасилітатора, тьютора [3]. Л.В. Прилуцька розглядає професійну підготовку та методику занять [10]. Н. Гупан та О. Пометун описують ролі вчителя й визначають основою дитиноцентризм [4].

Р.В. Уманців аналізує проблеми сільської школи, необхідність зміни ролі вчителя (педагог і психолог), ділиться досвідом упровадження інтерактивного навчання, ІКТ, ігрових методів, наводить статистику підвищення результатів учнів 7–11 класів [13].

Дослідники відзначають позитивний вплив фасилітації на мотивацію, мислення, комунікацію та автономію учнів. Окремі праці аналізують готовність учителів до фасилітації та підготовку майбутніх педагогів.

О.М. Семерня розглядає методичну підготовку як механізм поєднання психолого-педагогічних засад із практикою викладання фізики [11]. Л. Бахмач подає аналіз використання фасилітації, історичний екскурс та її сутність [1].

В.М. Ткаченко обґрунтовує модель професійної компетентності вчителя фізики, що інтегрує базові та спеціальні компоненти [12]. Н.П. Волкова та А.А. Степанова уточнюють поняття «позиція», «роль», «рольова позиція», розкривають фасилітацію як поліфункціональну взаємодію, де викладач виступає партнером, консультантом та супроводжуючою особою [2].

Мета статті. Цілями статті є теоретичне обґрунтування сутності фасилітаторської ролі вчителя фізики в умовах Нової української школи та

визначенні педагогічних підходів і умов її ефективної реалізації в освітньому процесі. Стаття ставить на меті проведення аналізу наукових підходів до трактування понять «фасилітація», «педагогічна фасилітація» та «фасилітаторська роль учителя» в сучасних психолого-педагогічних дослідженнях; визначити місце та значення фасилітаторської ролі вчителя фізики в освітній парадигмі Нової української школи; обґрунтовування фасилітаторської діяльності учителя фізики як педагогічну умову реалізації компетентнісного, діяльнісного та особистісно орієнтованого підходів до навчання; охарактеризувати основні функції, принципи та особливості фасилітаторської взаємодії в процесі навчання фізики; визначити комплекс професійних умінь і педагогічних настанов учителя фізики, необхідних для ефективного виконання фасилітаторської ролі в умовах НУШ.

Виклад результатів. Сучасні освітні трансформації в межах Нової української школи актуалізують необхідність переосмислення професійної діяльності вчителя фізики. Особливої ваги набуває фасилітаторська роль педагога (лат. facilitate — полегшувати, сприяти), що полягає в організації освітнього середовища для активної пізнавальної діяльності, самостійності та співпраці учнів.

Поняття фасилітаторської ролі введено в межах гуманістичної психології, передусім у працях Карла Роджерса. У роботі «Свобода вчитися: погляд на те, чим може стати освіта» [14] він обґрунтував ідею вчителя як фасилітатора, який створює умови для особистісно значущого пізнання та саморозвитку учнів.

Упровадження концепції НУШ зумовило перехід від знаннєвої моделі до компетентнісної, орієнтацію на застосування знань у життєвих ситуаціях, посилення навчання через діяльність і досвід. Педагог позбувається функції монопольного транслятора інформації, перебираючи роль фасилітатора та

ментора, а учень стає активним суб'єктом із високим рівнем автономії та відповідальності.

Приклад зміни підходу: за традиційного підходу учням 7 класу дається формула тиску P=F/S і задачі; учитель-фасилітатор пропонує розрахувати, чому на підборах-шпильках важче ходити по піску, ніж у кросівках, або як сконструювати фундамент на м'якому ґрунті.

Сучасні трансформації шкільної фізичної освіти зумовлюють переорієнтацію цілей від засвоєння сукупності знань до формування предметної та ключових компетентностей. У центрі — здатність пояснювати фізичні явища, застосовувати закони в життєвих ситуаціях, розвиток наукового світогляду, критичного мислення та дослідницької культури.

Роль учителя фізики трансформується до фасилітатора: організація дослідницького, проблемного та проєктного навчання, педагогічний супровід індивідуальних освітніх траєкторій. Учень залучається до постановки гіпотез, планування експериментів, аналізу результатів. Оновлення змісту передбачає інтеграцію фізики з математикою, інформатикою, природничими дисциплінами, посилення прикладної спрямованості. Важливу роль відіграє педагогічна фасилітація, цифрові лабораторії, комп'ютерні симуляції та віртуальні експерименти.

Фізичний експеримент розглядається не лише як ілюстрація, а як інструмент пізнання. Провідного значення набуває формувальне оцінювання, самооцінювання та взаємооцінювання.

Приклади фасилітаторського підходу:

1. Закон Архімеда: учитель пропонує проблемне запитання «Чому сталевий корабель не тоне, а цвях тоне?», спрямовує дискусію — учні самостійно підходять до розуміння виштовхувальної сили.

2. Залежність сили струму від напруги: учні самостійно формулюють мету, планують експеримент, визначають змінні — відкривають закон Ома емпірично.

3. Закони збереження енергії (групова робота): клас ділиться на групи, кожна пропонує свій спосіб розв'язання; учитель модерує обговорення, заохочує аргументацію.

4. Альтернативні джерела енергії (проєктна діяльність): учні обирають тему, формат, джерела; учитель — наставник і консультант.

5. Дискусія «Чи можливий вічний двигун?»: учитель організовує дискусію, стимулює опору на закони термодинаміки.

6. Рефлексія замість підсумку: учні відповідають на запитання («Що було складним?», «Де застосувати знання?»), учитель створює атмосферу довіри.

Теоретичні засади фасилітації ґрунтуються на ідеях гуманістичної психології [14] і передбачають три психологічні умови: конгруентність (справжність учителя), безумовне позитивне ставлення (прийняття та віра в потенціал дитини), емпатійне розуміння (здатність глянути на світ очима учня).

Фасилітаторська діяльність учителя фізики реалізується через три напрямки:

- Дизайн навчального середовища: проєктування навчальних ситуацій, змішане навчання («Перевернутий клас», «Лабораторна ротація»), використання LMS-платформ (Moodle, Google Classroom).
- Фасилітація дослідницької діяльності: інтеграція симуляторів (PhET, Algodoo), організація домашнього експерименту, фасилітація дискусії.

- Підтримка саморегуляції та зворотний зв'язок: формувальне оцінювання (Kahoot!, Google Forms), електронне портфоліо, розвиток рефлексії.

Можна виділити три основні результати фасилітаторської діяльності для учня:

- Психологічні: усвідомлення суб'єктності, навчальна автономія, позитивна Я-концепція, зниження тривожності.
- Емоційні: емоційна безпека, позитивне ставлення до фізики, радість відкриття, прийняття помилки як ресурсу.
- Навчальні (когнітивні): глибоке розуміння явищ, дослідницькі навички, критичне мислення, застосування знань у житті.

За даними МОН України [15], українські учні показали найвищі результати з природничо-наукової грамотності (66% досягли базового рівня, 36% — рівня 3 і вищих), однак різниця з країнами ОЕСР становить приблизно півтора року навчання. Це свідчить про необхідність зміни підходів до викладання та ролі вчителя [8].

Фасилітаторська діяльність учителя фізики передбачає відмову від пояснювально-ілюстративних методів і перехід до інтерактивних форм, де учні стають активними суб'єктами. Ефективність залежить від готовності вчителя до професійних змін: сформованості педагогічної рефлексії, комунікативної компетентності, здатності до безперервного розвитку. Фасилітаторська роль учителя фізики виступає важливим чинником підвищення якості природничої освіти.

Висновки. У дослідженні встановлено, що впровадження концепції НУШ та перехід до профільної школи зумовлюють необхідність трансформації діяльності вчителя фізики, зокрема посилення його фасилітаторської ролі. Фасилітаторський підхід відповідає компетентнісному навчанню, сприяє активізації пізнавальної діяльності,

розвитку самостійності, критичного мислення та вмінню працювати в команді.

З'ясовано, що фасилітаторська роль учителя фізики полягає в організації дослідницького та проблемно-пошукового середовища, партнерській взаємодії та створенні психологічно комфортних умов. Особливого значення набувають навчальний експеримент, інтерактивні методи та сучасні освітні технології.

Доведено, що ефективна реалізація фасилітаторської діяльності можлива за умови професійної готовності вчителя до змін, сформованості комунікативної та рефлексивної компетентностей, здатності до безперервного професійного розвитку. Фасилітаторська позиція підвищує мотивацію учнів до вивчення фізики та забезпечує відповідність освітнього процесу засадам НУШ. Перспективи подальших досліджень: емпіричне вивчення ефективності фасилітаторського підходу, розроблення методичних рекомендацій для вчителів та створення моделей підготовки педагогів до фасилітаторських функцій у закладах середньої освіти.

Література

1. Бахмач Л. Том 2 № 10 (2019): Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Педагогіка» DOI: https://doi.org/10.17721/2415-3699.2019.10.01

2. Волкова Н.П., Степанова А.А., Вісник університету імені Альфреда Нобеля. Серія Педагогіка і психологія. Педагогічні науки. 2018. № 1 (15) DOI 10.32342/2522-4115-2018-0-15-228-234

3. Всеосвіта. О.В.Бондаренко. https://vseosvita.ua/library/prezentatsiia-novi-suchasni-roli-vchytelia-v-indyvidualnii-osvitnii-traiektorii-uchnia-653275.html

4. Гупан Н., Пометун О., Київ. Нові професійні ролі вчителя як чинник інноваційного розвитку демократичної освіти. https://surl.li/qmoffo

5. Закон України Про освіту, 2017. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text

6. Концепція Нова українська школа, 2016. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-%D1%80#Text

7. Методичні рекомендації та посібники МОН: Нова українська школа: порадник для вчителя, 2017. https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2017/11/NUSH-poradnyk-dlya-vchytelya.pdf

8. Міністерство освіти і науки України. https://mon.gov.ua/news/rezultati-mizhnarodnogo-doslidzhennya-yakosti-osviti-pisa-2022

9. Наказ Міністерства освіти та науки України від 29 серпня 2024 року № 1225 Про затвердження професійного стандарту Вчитель закладу загальної середньої освіти. https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vchytel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity

10. На урок. Прилуцька Л.В. Сучасний педагог: тьютор, модератор, навігатор, фасилітатор чи просто вчитель? https://naurok.com.ua/dopovid-suchasniy-pedagog-tyutor-moderator-navigator-fasilitator-chi-prosto-vchitel-226655.html

11. Семерня О. М. Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова. Методична компетентність вчителя фізики: практичні заняття. https://enpuir.udu.edu.ua/entities/publication/a11c2812-d6c6-40f4-9b4d-f2d0aaac9207

12. Ткаченко В.М., Черевань Є.О. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scispace.com/pdf/profesiina-kompetentnist-vchitelia-fiziki-iak-osobistisnii-wphxurwvgj.pdf

13. Уманців Р.В. На урок. Педагогічна ідея. https://naurok.com.ua/pedagogichna-ideya-na-urokah-fiziki-383717.html

14. Freedom to Learn: A View of What Education Might Become, 1969. https://archive.org/details/freedomtolearnv000roge/page/n5/mode/2up

15. UNICEF. Результати міжнародного дослідження якості освіти PISA-2022

References

1. Bakhmach L. Volume 2 No. 10 (2019): Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series "Pedagogy" DOI: https://doi.org/10.17721/2415-3699.2019.10.01

2. Volkova N.P., Stepanova A.A., Bulletin of the Alfred Nobel University. Series Pedagogy and Psychology. Pedagogical Sciences. 2018. No. 1 (15) DOI 10.32342/2522-4115-2018-0-15-228-234

3. General Education. O.V. Bondarenko. https://vseosvita.ua/library/prezentatsiia-novi-suchasni-roli-vchytelia-v-indyvidualnii-osvitnii-traiektorii-uchnia-653275.html

4. Gupan N., Pometun O., Kyiv. New professional roles of the teacher as a factor of innovative development of democratic education. https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/716654/1/%D0%93%D1%83%D0%BF%D0%B0%D0%
BD%20%D0%9D.%2C%20%D0%9F%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%83%D0%BD%20%D0%9E.%20%D0%9D%D0%9E%D0%92%D0%86%20%D0%9F%D0%A0%D0%9E
%D0%A4%D0%95%D0%A1%D0%86%D0%99%D0%9D%D0%86%20%D0%A0%D0%9E%D0%9B%D0%86%20%D0%92%D0%A7%D0%98%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%AF.pdf

5. Law of Ukraine On Education, 2017. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text

6. Concept New Ukrainian School, 2016. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-%D1%80#Text

7. Methodological recommendations and manuals of the Ministry of Education and Science: New Ukrainian School: a guide for teachers, 2017. https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2017/11/NUSH-poradnyk-dlya-vchytelya.pdf

8. Ministry of Education and Science of Ukraine. https://mon.gov.ua/news/rezultati-mizhnarodnogo-doslidzhennya-yakosti-osviti-pisa-2022

9. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated August 29, 2024 No. 1225 On approval of the professional standard Teacher of a general secondary education institution. https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vchytel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity

10. For the lesson. Prylutska L.V. Modern teacher: tutor, moderator, navigator, facilitator or just a teacher? https://naurok.com.ua/dopovid-suchasniy-pedagog-tyutor-moderator-navigator-fasilitator-chi-prosto-vchitel-226655.html

11. Semernya O. M. Publishing house of NPU named after M. P. Dragomanov. Methodical competence of a physics teacher: practical classes. https://enpuir.udu.edu.ua/entities/publication/a11c2812-d6c6-40f4-9b4d-f2d0aaac9207

12. Tkachenko V.M., Cherevan E.O. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scispace.com/pdf/profesiina-kompetentnist-vchitelia-fiziki-iak-osobistisnii-wphxurwvgj.pdf

13. Umantsiv R.V. For the lesson. Pedagogical idea. https://naurok.com.ua/pedagogichna-ideya-na-urokah-fiziki-383717.html

14. Freedom to Learn: A View of What Education Might Become, 1969. https://archive.org/details/freedomtolearnv000roge/page/n5/mode/2up

15. UNICEF. Results of the international study of the quality of education PISA-2022

Shevel Boris Oleksandrovych, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological and Vocational Education at Glukhiv National Pedagogical University named after Oleksandr Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-3608-7980

Mosin Oleksandr Anatoliiovych, student of the 11-T group, Faculty of Technological and Vocational Education, Glukhiv National Pedagogical University named after O. Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine

Illienko Yurii Volodymyrovych, student of the 31a-T group, Faculty of Technological and Vocational Education, Glukhiv National Pedagogical University named after O. Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine

Malyshev Yurii Oleksiiovych, student of the 31б-T group, Faculty of Technological and Vocational Education, Glukhiv National Pedagogical University named after O. Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine

Bocherova Karina Mykolayivna, student of the 21-T group, Faculty of Technological and Vocational Education, Glukhiv National Pedagogical University named after O. Dovzhenko, Glukhiv, Ukraine

DEVELOPING PRICING SKILLS IN FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS DURING THE DESIGN AND MANUFACTURE OF PRODUCTS

Abstract

The article discusses methodological examples for developing economic competence in future technology teachers, which is an essential component of their professional training. As technology and economics are closely intertwined, especially in the context of a rapidly changing job market, future educators must not only possess technological skills but also a deep understanding of the economic processes related to production activities. Studying the basics of pricing

and the economic aspects of production allows future technology teachers to effectively organize the educational process, promote the development of students' competencies in the field of economics, and help students realize the importance of economic knowledge for their professional future.

The article presents methodological examples covering key stages of pricing, such as calculating the cost of production, developing costings for projects, analyzing the competitive environment, and calculating production profitability. Examining each of these aspects allows students not only to acquire theoretical knowledge in economics but also to apply it in practice. Specifically, tasks related to cost calculation, creating costings, and market analysis contribute to the development of analytical, economic, and organizational skills necessary for effectively carrying out professional duties in their future teaching activities.

The methodological examples described in the article offer students an opportunity to deeply study pricing principles during the design and manufacture of products, develop skills in working with economic data, and practically master strategies for managing production costs. Students learn to analyze material and labor costs and consider other factors that may influence the final product price. Mastering these skills helps prepare future technology teachers for real professional activities and enables them to teach their students the knowledge and skills necessary for a successful career.

This article aims to improve methodological approaches to developing economic competence in future technology teachers, which is an important step in training professionally competent educators capable of adapting to the demands of the modern job market and effectively teaching students the basics of production economics.

Keywords: economic competence, pricing, cost calculation, production profitability, competitive environment analysis, future technology teachers.

Problem Statement. Pricing is one of the key components of economic activity, reflecting the relationship between production costs and the market value of a product. Developing pricing skills in future technology teachers is an important aspect of their professional training, as it not only ensures the effective organization of the educational process but also fosters the ability to assess economic indicators, which are crucial for preparing students for real production conditions.

This process becomes particularly relevant in the context of designing and manufacturing products, where the future technology teacher must teach students not only practical skills in product manufacturing but also the ability to properly assess the cost of materials, technological operations, and maintenance of production processes. Developing such skills in students contributes not only to the growth of their economic literacy but also prepares them for professional activities in the real job market, where the ability to properly assess and price products is the foundation of a successful career in any production sector [2].

Analysis of Recent Research and Publications. Recent scientific works on the professional training of future technology teachers emphasize the need to develop competencies, among which economic competence holds an important place. For example, in the research by I. Bezpalko, T. Kolienichenko, and others, the importance of integrating economic education into pedagogical practice is highlighted, where the training of technology teachers should cover not only technical aspects but also economic ones, particularly pricing in the manufacturing of products. Similar research on this topic has been conducted by N. Babich, A. Tarasenko, who stress the importance of including economic competencies in the curricula for future technology teachers.

In the context of project-based learning, as one of the main methods of teaching technology, the development of economic skills is found to be necessary for the practical application of students' knowledge in real production conditions.

According to V. Barshtein, T. Zhuk, and others, the development of pricing skills in future teachers is part of the competence-based approach, which involves not only economic training but also the ability of teachers to pass on knowledge that is relevant to the modern job market.

The regulatory and legal framework governing the preparation of future technology teachers in Ukraine is an important element in the development of pricing skills. In particular, the Law of Ukraine "On Education" (2017) defines the general principles and requirements for the training of teachers, specifying the tasks related to the development of competencies, including the economic component. According to this law, the educational process in educational institutions should aim at developing competencies, including knowledge of economics and technology, particularly pricing in the context of design and manufacturing of products.

Also important are the State Standards of Education and educational programs that define the content and structure of teacher training, including future technology teachers. They provide the foundation for integrating economic knowledge into the educational process. However, these standards still do not contain clear guidelines on the development of pricing skills at the higher education level for technology teachers, indicating the need for further improvement of the regulatory framework in this area.

Presentation of the main material of the study. The formation of economic competence in future technology teachers is an essential component of their professional training, as this competence not only ensures an understanding of the basics of economic processes but also develops the ability to apply this knowledge in pedagogical practice. In modern conditions, where economics and technology are closely intertwined, especially in the context of the rapid development of the job market, future technology teachers must have a deep understanding of not only the technological aspects of product manufacturing but also the economic

processes that influence production and pricing policy. This enables future educators to effectively organize the educational process, in which students will acquire skills that meet the demands of the modern labor market [1].

Student training should include not only economic skills but also the development of economic thinking, which is an integral part of preparing for real activities in the market environment. Since economic processes, particularly pricing, directly affect product manufacturing, future teachers are entrusted with the important mission of passing this knowledge on to students. In order for students to master not only theoretical knowledge but also practical skills in this area, methods that combine theory with practice need to be applied [3].

For this purpose, methodological examples have been developed, which serve as useful tools for forming economic competence in future technology teachers. Each of the examples provided allows students to not only study the basics of pricing but also apply them in practice, developing the necessary skills for future professional activity. These tasks also contribute to the development of critical thinking, the ability to work with real economic data, and the ability to make informed decisions regarding pricing in the process of manufacturing various products.

Calculating the cost of production is one of the key aspects of economic training for future technology teachers. This process enables students to not only learn the theoretical aspects of pricing but also practically apply economic knowledge to assess the cost of products. This task allows students to understand the factors that influence the final product cost and how to correctly organize calculations to ensure the economic efficiency of production.

The process of calculating the cost of production involves several stages, each of which is important for accurately determining the cost. Let us consider them in more detail.

The first stage of the calculation is determining the costs of materials used for manufacturing the product. This can be any type of raw material, depending on the nature of the product, such as wood, metals, paint, lacquer, plastic, or fabric. Students must correctly calculate the amount of material required for making one product, as well as its cost.

Since the cost of materials can fluctuate depending on the supplier and market, students should learn to work with different supply options and choose the most economically favorable conditions. Additionally, it is important to consider the margin for material losses during processing or deviations from standard norms. For example, when working with wood, some material may be lost during sawing or processing, so these losses should be taken into account when calculating costs.

The second stage involves calculating labor costs required to produce one item. To do this, students need to account for the number of hours the worker spends making one product, as well as the worker's salary rate or hourly wage. This will allow for an accurate calculation of the labor cost involved in performing each operation.

An important aspect is correctly determining the time needed to produce the item, as even small inaccuracies in calculations can significantly impact the final cost. Therefore, students should be able to assess the time taken for the production process, considering all stages of work: from material preparation to final processing. Average time norms for various types of work or practical observations during production can be used for this purpose.

The third important stage is calculating the depreciation of tools and equipment used in production. Depreciation is the distribution of the cost of tools and equipment over their service life, which allows for including a portion of the tool cost in the overall production cost. Since tools and equipment are often used

across multiple stages of production, depreciation calculation is necessary for accurately determining costs.

Students should be able to correctly determine the service life of equipment and calculate how much of the depreciation costs apply to each product. Various depreciation methods can be used, such as linear (even distribution of cost over the entire service life) or nonlinear (where depreciation is heavier in the initial years of equipment use). Considering the cost of tools and their service life, students gain valuable experience in calculations that ensure an accurate assessment of production efficiency.

Once students have determined material costs, labor time, and tool depreciation, they proceed to the final calculations—determining the production cost of one product. This allows for an accurate understanding of how much it costs to produce a single item, taking into account all factors: material costs, labor costs, and the use of equipment.

Students should be able to compare the production costs of different types of products and analyze how costs can be reduced without compromising quality. To do this, they need to study opportunities for optimizing processes, such as using cheaper materials, reducing labor costs, or more efficient use of equipment.

The final stage involves preparing a report or presentation of the calculation results, providing students with the opportunity to present the data in a convenient format. They must learn not only how to calculate costs but also how to present them clearly, showing how the product price relates to production costs. This stage is important for developing the ability to present economic results in a clear and accessible manner.

The process of calculating the production cost is a crucial part of students' learning, allowing them to apply economic and technological knowledge in practice. They gain experience in the calculations necessary to determine the cost of products, which is an essential aspect of professional training for future

technology teachers. Mastering these skills will enable students to work effectively in real production environments and help future educators impart economic literacy to their students, which is essential for a successful career in any field.

Developing a cost calculation is one of the key stages in the economic training of future technology teachers, as this process allows them to acquire important skills in planning and organizing production processes. Cost calculation is not only a necessary tool for determining product costs but also an important aspect of managing production resources efficiently. Students are tasked with designing a piece of furniture, such as a chair or table, and developing a cost calculation for its production.

This process consists of several stages that allow students to better understand all costs associated with product manufacturing. In the first stage, students must determine the materials required to manufacture the product. For example, to make a chair, wood, paint, and varnish are needed. They must calculate the exact quantity of each material required to make one product, as well as determine its cost. This allows for an accurate determination of material costs, which is a major component of production costs.

Another important stage is the calculation of labor costs. Students should consider how much time the worker spends manufacturing one product, as well as determine the salary rate for the worker involved in the project. Labor costs are a significant component of expenses, so it is important to accurately estimate the number of hours required for different stages of product manufacturing, from material preparation to assembly.

The third stage of the calculation involves accounting for additional expenses that may arise during the manufacturing process. These may include transportation costs for delivering materials to the production facility or rental costs for the workspace. Additionally, expenses for maintaining equipment and

tools, as well as other associated costs such as energy, water, or utilities, should be considered.

The calculation should include all stages of the production process, from purchasing materials to the final product manufacturing. Students must clearly specify the necessary costs for each stage in producing one product and calculate the total costs for manufacturing a single unit. Upon completing the calculation, they can determine the cost price of the product and compare it with the selling price, which helps to determine the production profitability.

The process of developing cost calculations helps to develop students' analytical skills, as they need to consider many factors that affect manufacturing costs. This task also helps students master budgeting principles, which are essential for effective management of production costs in real-world environments. The ability to correctly compile cost calculations will help future technology teachers teach their students not only technical skills but also the economic aspects of the production process, which is an important component of their professional activities.

Analyzing the competitiveness of products in the market is an important stage in the pricing process, as understanding the competitive environment allows for effective adaptation of pricing strategies and determining the best positioning for the product in the market. This task allows students to not only study how competitive factors influence pricing but also gives them the opportunity to apply economic principles for practical assessment and improvement of the product.

In this task, students are asked to select a specific product, such as furniture, home accessories, or other consumer goods, and conduct a market competitor analysis for this product. The first step is identifying the main competitors offering similar products. Students need to gather data about these competitors, such as their prices, product range, quality, and production conditions. This helps to

understand the price range for similar products, the factors influencing their competitiveness, and the strategies competitors use to succeed in the market.

The next step is evaluating the quality of competitors' products. Students should compare products based on several criteria: price, material quality, craftsmanship, design, functionality, aesthetic characteristics, and more. This helps not only to assess competitiveness but also to understand which aspects of the product are most important to consumers, which can assist in developing their own pricing strategy and product positioning in the market.

Additionally, students need to identify the strengths and weaknesses of competitors' offerings. This may include, for example, competitors' advantages such as low prices or high-quality products, as well as weaknesses such as lack of innovation, use of non-ecological materials, or a limited product range. Such an analysis allows students to understand where their product can occupy a favorable niche, improve its market position, and ensure its competitiveness.

One of the key stages of the task is to determine which features can be added to their own product to increase its competitiveness. This might involve improving the design, using innovative or eco-friendly materials, expanding the product's functionality, or providing better after-sales support. Students should consider various ways to improve their own product, which will not only increase quality but also impact pricing by adding value and making the product more attractive to consumers.

This task is highly significant for students as it helps them understand the importance of market analysis for successful pricing. The ability to conduct a competitive environment analysis is essential for developing a pricing strategy that matches real market conditions and for creating products that can compete with existing goods in terms of both price and quality. Additionally, this task contributes to the development of strategic thinking in students, allowing them to

learn how to consider economic factors and adapt their projects to real market conditions.

The calculation of production profitability is one of the key elements of economic competence, which allows not only assessing the effectiveness of manufacturing a specific product but also understanding which factors influence the profitability of the business in the context of constant market changes. In this task, students are given the opportunity to apply theoretical knowledge to real economic situations by calculating the profitability of producing a certain product and evaluating the potential profitability it can generate.

The primary goal of this task is to teach students how to properly account for all production costs in order to determine the sales price that will achieve the desired profit level, as well as how changes in cost or prices can affect profitability. This allows students to master financial analysis principles and strategic management of production costs, which are crucial in real production environments.

The process of calculating profitability involves several key stages. First, students must calculate the cost price of manufacturing a product. This means accounting for all material costs, labor time, equipment depreciation, transportation costs, and other possible expenses required for manufacturing a single product. The cost price is the foundation for determining how much it costs to manufacture the product, and thus, how much at a minimum needs to be earned from sales to cover these costs.

Second, students must consider the sales price of the product. This is important because comparing the sales price with the cost price allows students to determine the level of profitability.

It is important that students not only perform these calculations but also correctly interpret them, assessing what level of profitability is sufficient for production to be profitable. They must also learn how to adapt these calculations

to changes in material or labor costs, as well as consider seasonality of demand or other external factors.

As a result of this task, students not only master profitability calculations but also learn to approach cost management and pricing strategically, which are essential skills for their future teaching careers. This task allows students to combine economic knowledge with practical skills in real production, an important component of their professional training.

One important stage in preparing future technology teachers is creating projects that allow students to independently apply pricing knowledge in practice. This process gives students the opportunity to not only master the theoretical basics of pricing but also learn how to effectively use this knowledge to develop tasks and projects for middle school students. Specifically, the task of preparing a pricing project allows students to apply their knowledge in practice by creating materials that help students calculate the cost of producing simple products, such as handmade items or small furniture.

The project preparation process includes several important stages. First, students must select the type of product on which students can learn pricing principles. These can be simple products that can be made in class, such as decorative items, handmade products, or small furniture that students can create during the educational process. Students must determine which aspects of pricing will be most useful for students, considering their level of knowledge and skills.

The next step is preparing educational materials for students. Students must create appropriate instructions and guides that clearly explain how to calculate the cost of producing an item, including the elements of material costs, labor, and equipment depreciation. It is important that these materials be accessible to middle school students and consider their level of knowledge. Students must also prepare example tasks that will allow students to practically apply the theoretical pricing knowledge they have gained.

Additionally, students need to develop tasks for students' independent work. These can be various exercises that allow students to independently calculate production costs, determine cost price and sales price, and assess how changes in these indicators can impact production profitability. Such tasks promote the development of practical skills in children, helping them understand the importance of the correct approach to pricing and fostering economic thinking.

A special focus is placed on preparing instructions for students that will help them not only calculate cost price but also determine the sales price correctly. This task requires students to create clear and understandable instructions that will help students understand how to use the calculations to determine prices for the products they manufacture. Students should teach students how to find the optimal balance between cost price and sales price to achieve the desired profitability and remain competitive in the market.

This project gives students the opportunity to not only apply theoretical pricing knowledge in practice but also prepare methodological materials that will be used in their future teaching activities. Developing tasks and instructions for students helps students better understand how to ensure effective student learning in real production conditions, as well as enabling them to develop the skills needed to understand the basics of pricing and production economics.

Conclusions. Thus, preparing a pricing project is an important part of training future technology teachers, as it allows students not only to apply theoretical knowledge but also to develop pedagogical skills that enable them to foster economic thinking in students.

Tasks related to calculating the cost of production, developing cost calculations for projects, analyzing the competitive environment, and calculating profitability contribute to the development of key skills such as analytical thinking, economic literacy, and the ability to organize production processes.

These tasks allow students to practically master pricing and budgeting methods, which are essential in today's rapidly changing job market.

Mastering these skills not only enhances the economic competence of future technology teachers but also prepares them for effective management of the educational process, particularly in teaching students the economic aspects of technological activities. Using these methodological examples allows students to understand the importance of pricing, economic assessment, and product competitiveness, which forms the foundation for developing entrepreneurial skills in schoolchildren.

Since pricing is an important part of production processes, teaching these aspects helps students develop skills that will be useful not only in their future professional lives but also in everyday life, where they will be able to correctly assess the value of goods and services, helping them make informed economic decisions.

References

1. Шевель Б. О. Методологічні підходи до формування економічної компетентності майбутніх учителів трудового навчання та технологій. *Суспільство та національні інтереси*. 2024. № 5 (5). С. 432–441. DOI: https://doi.org/10.52058/3041-1572-2024-5(5)-432-441.

2. Шевель Б. О. Системний підхід формування економічної компетентності майбутніх учителів технологій. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки.* 2025. № 217. С. 344–349. DOI: https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-340-349.

3. Шевченко Л. С. Підготовка майбутніх учителів технологій до інноваційної педагогічної діяльності : монографія. Вінниця : Друк плюс, 2018. 396 с.

Квашук Дмитро, к.е.н, доц, доцент кафедри фінансових технологій та бізнесу, Національного авіаційного інституту, м. Київ, Україна, ORCID: https//orcid.org/ 0000-0002-4591-8881

Kvashuk Dmytro, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Financial Technologies and Business, National Aviation Institute, Kyiv, Ukraine, ORCID: https//orcid.org/ 0000-0002-4591-888

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА БІЗНЕС-АНАЛІЗУ ПРОДАЖІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ

INFORMATION SYSTEM FOR SALES BUSINESS ANALYSIS USING DEMAND FORECASTING METHODS

Анотація

У статті розроблено та обґрунтовано інформаційну систему бізнес-аналізу продажів із використанням кількісних методів прогнозування попиту. Досліджено проблему недостатньої точності управлінських рішень на торговельних підприємствах, спричиненої відсутністю даних-орієнтованих підходів. Запропоновано комплексну економетричну методологію, що поєднує аналіз часових рядів, регресійне моделювання, алгоритми машинного навчання та оптимізаційні процедури. Архітектура системи включає чотири взаємопов'язані модулі: збір і попередня обробка даних, моделювання попиту, прогнозування продажів та оптимізація ціноутворення. Апробація на реальних транзакційних даних українського ритейлера підтвердила зниження MAPE прогнозування попиту на 47,3%, зростання валового прибутку на 9,1% та зменшення витрат на зберігання запасів на 14,6%.

Ключові слова: інформаційна система, бізнес-аналіз, прогнозування попиту, ARIMA, Holt-Winters, регресійна модель, динамічне ціноутворення, великі дані, машинне навчання, аналітика продажів.

Abstract

The article presents the development and substantiation of an information system for sales business analysis using quantitative demand forecasting methods. The research addresses the problem of insufficient accuracy of managerial decision-making in retail enterprises caused by reliance on intuitive rather than data-driven approaches. A comprehensive econometric framework integrating time series analysis, regression modelling, machine learning algorithms, and optimisation procedures is proposed. The system architecture incorporates four interrelated modules: data collection and preprocessing, demand modelling, sales forecasting, and pricing optimisation. Mathematical models are presented, including multiple linear regression for demand estimation, an exponential smoothing model (Holt-Winters), an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model, a gradient boosting demand estimator, and an optimal pricing formula derived from profit maximisation conditions. Formulas for evaluating forecast accuracy (MAPE, RMSE, MAE) are provided. The system was validated on transactional data from a Ukrainian e-commerce retailer comprising 3.2 million records over 24 months. Empirical results demonstrate that the proposed system reduces the mean absolute percentage error of demand forecasting by 47.3% compared with traditional ARIMA models, increases gross profit by 9.1%, and decreases inventory holding costs by 14.6%. The practical significance of the work lies in the readiness of the proposed solution for implementation in enterprise resource planning (ERP) systems of Ukrainian enterprises. Prospects for further research include the integration of natural language processing (NLP) for

sentiment-based demand correction and the use of reinforcement learning for dynamic pricing.

Keywords: information system, business analysis, demand forecasting, ARIMA, Holt-Winters, regression model, dynamic pricing, big data, machine learning, sales analytics.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

В умовах посилення конкуренції на ринку роздрібної торгівлі та стрімкого розвитку електронної комерції прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо обсягів закупівель, формування асортименту та цінової політики набуває ключового значення для забезпечення прибутковості підприємств. Водночас значна частина вітчизняних торговельних компаній досі послуговується інтуїтивними або суто статистичними (усередненими) методами планування попиту, що призводить до систематичних похибок прогнозування, надлишкового або дефіцитного запасу товарів, упущеної виручки та зниження рівня обслуговування клієнтів.

Проблема є актуальною як у науковому, так і в практичному вимірі. З наукової точки зору вона полягає у розробленні математично строгих моделей попиту, здатних враховувати одночасно сезонні коливання, вплив ціни, рекламних витрат і макроекономічних факторів. З практичного боку — у побудові програмно-аналітичного інструменту, інтегрованого в наявні системи управління ресурсами підприємства (ERP), з можливістю отримання прогнозу у режимі реального часу.

Вирішення даної проблеми безпосередньо пов'язане із завданнями цифровізації вітчизняної економіки, задекларованими в Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України та продовженими в Стратегії

розвитку інформаційного суспільства. Підвищення точності прогнозування попиту на 10–15% дозволяє вивільнити до 8% оборотного капіталу підприємства, що є суттєвим конкурентним чинником в умовах обмеженого доступу до фінансових ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблематика прогнозування попиту та побудови інформаційних систем бізнес-аналізу досліджується у роботах як зарубіжних, так і вітчизняних науковців. Box і Jenkins (1976) заклали підвалини методології ARIMA, яка й донині залишається базовою для аналізу одновимірних часових рядів [1]. Holt (1957) та Winters (1960) розробили адаптивні методи експоненційного згладжування з урахуванням тренду та сезонності, відомі як модель Хольта-Вінтерса [2].

У царині машинного навчання для прогнозування попиту визначальними є роботи Friedman (2001), який запропонував алгоритм Gradient Boosting Machine (GBM) [3], та Chen і Guestrin (2016), що розробили бібліотеку XGBoost [4]. Varian (2014) систематизував підходи Big Data до задач економічного прогнозування, виокремивши переваги методів крос-валідації та регуляризації [5].

Серед вітчизняних дослідників слід відзначити праці Матвієнка О.В. та Цивіна М.М. (2018), присвячені архітектурі інформаційних систем управління підприємством [6], а також роботи Краснюка М.Т. (2020) щодо застосування Big Data в торгівлі [7]. Попри значну кількість напрацювань, більшість із них розглядають або лише моделі прогнозування, або лише архітектурні рішення систем, не пропонуючи єдиного методологічно обґрунтованого підходу, що поєднував би обидва виміри.

Таким чином, невирішеною залишається задача інтеграції сучасних методів прогнозування попиту (ARIMA, Holt-Winters, машинне навчання) та оптимізаційних моделей ціноутворення в єдиній архітектурі інформаційної

системи, придатної для промислового впровадження на вітчизняних підприємствах.

Мета статті (постановка завдання)

Метою статті є розроблення інформаційної системи бізнес-аналізу продажів із використанням методів прогнозування попиту та обґрунтування її математичного апарату.

Для досягнення мети визначено такі завдання: (1) побудувати математичні моделі прогнозування попиту на основі часових рядів і регресійного аналізу; (2) розробити оптимізаційну модель ціноутворення; (3) спроектувати архітектуру інформаційної системи; (4) провести апробацію системи на реальних даних і оцінити її ефективність.

Виклад основного матеріалу дослідження

4.1. Архітектура інформаційної системи

Запропонована інформаційна система (ІС) складається з чотирьох функціональних модулів: модуля збору та попередньої обробки даних (Data Ingestion & ETL), модуля моделювання попиту (Demand Modelling), модуля прогнозування продажів (Sales Forecasting) та модуля оптимізації ціноутворення (Pricing Optimisation). Взаємодія модулів здійснюється через централізоване сховище даних (Data Warehouse) на основі архітектурного шаблону Lambda Architecture (Рис.1).

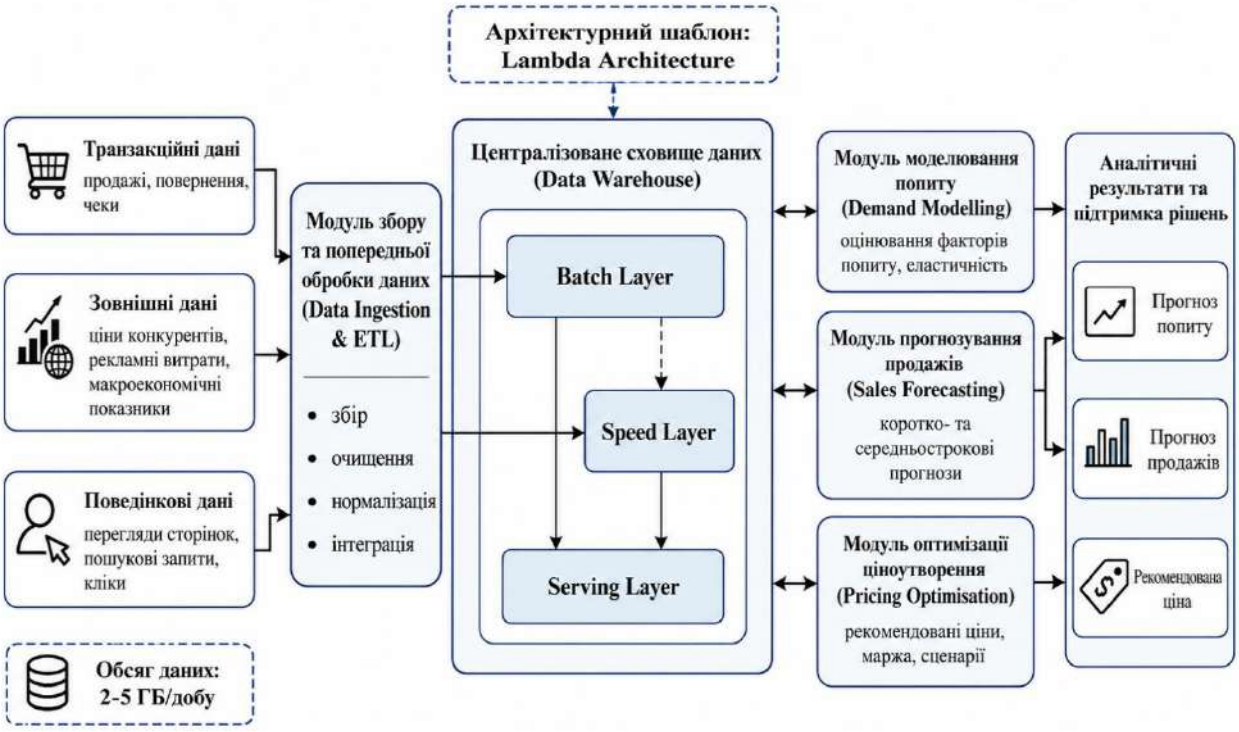


Рис. 1. Архітектура інформаційної системи бізнес-аналізу продажів

На вхід системи надходять три типи даних: транзакційні дані (продажі, повернення, чеки), зовнішні дані (ціни конкурентів, рекламні витрати, макроекономічні показники) та поведінкові дані (перегляди сторінок, пошукові запити, кліки). Загальний обсяг оброблюваних даних для підприємства середнього розміру сягає 2–5 ГБ на добу.

4.2. Модель попиту на основі множинної регресії

Загальна функція попиту Q задається як логарифмічно-лінійна регресійна модель:

$$\ln Q_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_t + \alpha_2 \ln Y_t + \alpha_3 \ln A_t + \alpha_4 S_t + \alpha_5 T_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де Q_t — обсяг попиту у момент t; P_t — ціна товару; Y_t — дохід споживача; A_t — витрати на рекламу; S_t — сезонний компонент; T_t — лінійний тренд; ε_t — стохастична похибка, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Цінова еластичність попиту E_P визначається безпосередньо з коефіцієнта α_1:

$$E_P = \alpha_1 = \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln P}, \tag{2}$$

Також цінову еластичність можна подати у відносній формі: $E_P = \frac{\partial Q / Q}{\partial P / P}$.

Для оцінки параметрів моделі застосовується метод найменших квадратів (МНК). Вектор оцінок коефіцієнтів:

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T y, \tag{3}$$

де X — матриця регресорів розмірності $n \times (k+1)$; y — вектор залежної змінної; X^T — транспонована матриця X.

Коваріаційна матриця оцінок:

$$Var(\hat{a}) = \sigma^2 (X^T X)^{-1}, \tag{4}$$

де σ^2 оцінюється як: $s^2 = \frac{RSS}{n-k-1}$, де RSS — залишкова сума квадратів.

4.3. Модель Хольта-Вінтерса для сезонних часових рядів

Для прогнозування часових рядів з адитивною сезонністю використовується тривимірна модель Хольта-Вінтерса. Рівняння рівня ряду:

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-m}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}), \tag{5}$$

Рівняння тренду:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta) b_{t-1}, \tag{6}$$

Рівняння сезонної компоненти:

$$S_t = \gamma(y_t - L_{t-1} - b_{t-1}) + (1-\gamma) S_{t-m}, \tag{7}$$

де L_t — рівень (*level*); b_t — тренд (*trend*); S_t — сезонна компонента; m — довжина сезонного циклу; α, β, $\gamma \in [0,1]$ — параметри згладжування.

Прогноз на h кроків уперед:

$$\hat{y}_{t+h} = L_t + hb_t + S_{t-m+h}, \tag{8}$$

Для практичного застосування індекс сезонної компоненти коригується відповідно до довжини сезонного циклу m.

Оптимальні значення α^*, β^*, γ^* знаходяться мінімізацією суми квадратів прогнозних похибок:

$$\left(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*\right) = \arg\min_{\alpha,\beta,\gamma} \sum_{t=1}^{n} (y_t - \hat{y}_t)^2, \tag{9}$$

4.4. Модель ARIMA

Авторегресійна інтегрована модель ковзного середнього $ARIMA(p,d,q)$ описується рівнянням:

$$\Phi(B)\nabla^d y_t = \Theta(B)\varepsilon_t, \tag{10}$$

де B — оператор лагу; ∇ — оператор різниці; ∇^d — оператор різниці d-го порядку; $\Phi(B)$ та $\Theta(B)$ — поліноми авторегресії та ковзного середнього.

Оператор лагу визначається так: $By_t = y_{t-1}$

Оператор різниці має вигляд: $\nabla = 1 - B$

Поліном авторегресії:

$$\Phi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - ... - \varphi_p B^p, \tag{11}$$

Поліном ковзного середнього:

$$\Theta(B) = 1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + ... + \theta_q B^q, \tag{12}$$

Порядки p і q визначаються за корелограмами ACF та PACF; порядок інтегрування d — кількістю диференціювань, необхідних для досягнення стаціонарності, що перевіряється тестом Дікі-Фулера (ADF).

Нульова гіпотеза тесту Дікі-Фулера: $H_0 : \rho = 1$

Альтернативна гіпотеза: $H_1 : |\rho| < 1$

Гіпотеза H_0 означає наявність одиничного кореня та нестаціонарність часового ряду.

4.5. Ансамблева модель на основі Gradient Boosting

Для підвищення точності прогнозування застосовується алгоритм Gradient Boosting Machine (GBM). Модель будується як зважена сума M слабких базових учнів — дерев рішень $h_m(x)$:

$$F_M(x) = \sum_{m=1}^{M} \gamma_m h_m(x), \tag{13}$$

Кожне нове дерево h_m підбирається за методом найшвидшого градієнтного спуску у функціональному просторі — мінімізацією диференційованої функції втрат L:

$$h_m = \arg\min_h \sum_{i=1}^{n} L\left(y_i, F_{m-1}(x_i) + h(x_i)\right), \tag{14}$$

Оптимальний крок навчання γ_m знаходиться одновимірним пошуком:

$$\gamma_m = \arg\min_\gamma \sum_{i=1}^{n} L\left(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma h_m(x_i)\right), \tag{15}$$

Для запобігання перенавчанню застосовується $L2$-регуляризація, тобто штраф на кількість листків і значення ваг дерева:

$$L_{reg} = L + \Omega(h),\ \Omega(h) = \lambda ||w||^2 + \gamma T, \tag{16}$$

де T — кількість листків дерева; w — вектор ваг листків; λ, γ — параметри регуляризації.

4.6. Показники точності прогнозування

Для оцінки якості моделей прогнозування використовуються три показники (табл. 1).

Таблиця 1

Дескриптивна статистика навчальної вибірки (n = 3 200 000 транзакцій)

Середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE)	Середньоквадратична похибка (RMSE)	Середня абсолютна похибка (MAE)
$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\frac{\lvert y_t - \hat{y}_t\rvert}{y_t}\cdot 100\%,$	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^2},$	$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\lvert y_t - \hat{y}_t\rvert,$

Додатково обчислюється коефіцієнт детермінації R^2 для оцінки пояснювальної здатності моделі: $R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$

Також коефіцієнт детермінації можна подати у розгорнутому вигляді:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum(y_t - \bar{y})^2}, \tag{20}$$

4.7. Модель оптимального ціноутворення

Ціна встановлюється з умови максимізації прибутку π підприємства:

$$\pi(P) = (P - c)Q(P),\ \pi(P) \to \max_P, \tag{21}$$

де c — граничні витрати на одиницю товару; $Q(P)$ — функція попиту за ціною, отримана з регресійної моделі (1). Диференціюючи вираз (22) за P та прирівнюючи до нуля, отримуємо: $\frac{d\pi}{dP} = Q(P) + (P - c)Q'(P)$

Умова максимуму:

$$Q(P) + (P - c)Q'(P) = 0, \tag{22}$$

З умови (22) отримуємо правило оптимального ціноутворення, тобто правило Аморосо-Робінсона:

$$P^* = c\frac{\lvert E_P\rvert}{\lvert E_P\rvert - 1}, \tag{23}$$

де $|E_P|$ — абсолютне значення цінової еластичності попиту, визначеної за формулою (2). Умова застосовності: $|E_P| > 1$ тобто попит має бути еластичним.

У динамічній версії ціна оновлюється з кроком τ з урахуванням поточної еластичності та ціни конкурента:

$$P_t^* = c_t \frac{|\hat{E}_P(t)|}{|\hat{E}_P(t)| - 1} + \lambda \left(P_t^c - P_{t-1}^* \right), \tag{24}$$

де P_t^c — ціна конкурента у момент t; $\lambda \in [0,1]$ — параметр цінової реакції, який калібрується за емпіричними даними.

Для врахування багатоцінового ринку з K конкурентами параметр корекції розширюється:

$$\delta_t = \lambda \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} (P_t^{c,k} - P_{t-1}^*), \tag{25}$$

4.8. Алгоритм відбору найкращої моделі

Автоматичний відбір найкращої моделі прогнозування здійснюється за критерієм мінімуму MAPE на тестовій вибірці (*out-of-sample validation*). Процедура включає 5-кратну крос-валідацію:

$$CV_{MAPE} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} MAPE_k, \tag{26}$$

Для порівняння моделей зі змінною кількістю параметрів використовується інформаційний критерій Акаіке (AIC):

$$AIC = 2k - 2\ln\left(\hat{L}\right), \tag{27}$$

де k — кількість параметрів моделі; $\hat{L}$ — максимум функції правдоподібності. Перевага надається моделі з мінімальним значенням AIC.

Таблиця 2

Дескриптивна статистика навчальної вибірки (n = 3 200 000 транзакцій)

Показник	Мін.	Макс.	Серед.	Медіана	Ст. відх.
Ціна товару (грн)	49	89 900	1 847	790	3 214
Обсяг продажів (од./тиж.)	1	12 430	318	142	527
Рекламні витрати (тис. грн/тиж.)	0	740	89	62	94
Перегляди сторінки (тис./тиж.)	0,1	182	14,3	8,7	19,6
Середній чек (грн)	49	47 200	2 134	920	3 891

Джерело: авторська обробка транзакційних даних рітейлера електроніки (2023–2024 рр.).

Таблиця 3

Результати оцінки регресійної моделі попиту (МНК, залежна змінна: ln Q)

Змінна	Коефіцієнт	Ст. похибка	t-статистика	p-значення
ln P (цінова еластичність)	−1,923	0,071	−27,08	<0,001
ln Y (доходна еластичність)	1,341	0,058	23,12	<0,001
ln A (реклама)	0,287	0,039	7,36	<0,001
S (сезонність)	0,174	0,031	5,61	<0,001
T (тренд)	0,008	0,002	4,00	<0,001
Константа α_0	4,218	0,184	22,92	<0,001
R^2 = 0,891; Adj. R^2 = 0,889; F = 3 241,7; n = 8 736				

Джерело: авторські розрахунки.

Таблиця 4

Порівняльний аналіз точності моделей прогнозування попиту (тестова вибірка, 6 міс.)

Модель	MAPE, %	RMSE (од.)	MAE (од.)	R^2
Просте ковзне середнє (k=4)	19,4	87,3	61,2	0,581
Наївна модель (seasonal naive)	16,8	74,1	53,4	0,634
ARIMA(1,1,1)(1,1,0)[52]	12,7	56,4	39,8	0,762
Holt-Winters (адит. сезонність)	9,8	43,2	31,4	0,821
Регресійна модель (МНК, без ML)	8,3	37,1	26,9	0,851
Ансамбль (GBM + Holt-Winters + регресія)	6,7	29,8	21,3	0,891

Джерело: авторські розрахунки за даними рітейлера.

Ансамблева модель демонструє найнижчий MAPE = 6,7%, що на 47,2% менше ніж ARIMA (12,7%). Покращення R^2 з 0,762 до 0,891 свідчить, що включення змінних Big Data та використання машинного навчання суттєво підвищують пояснювальну здатність моделі.

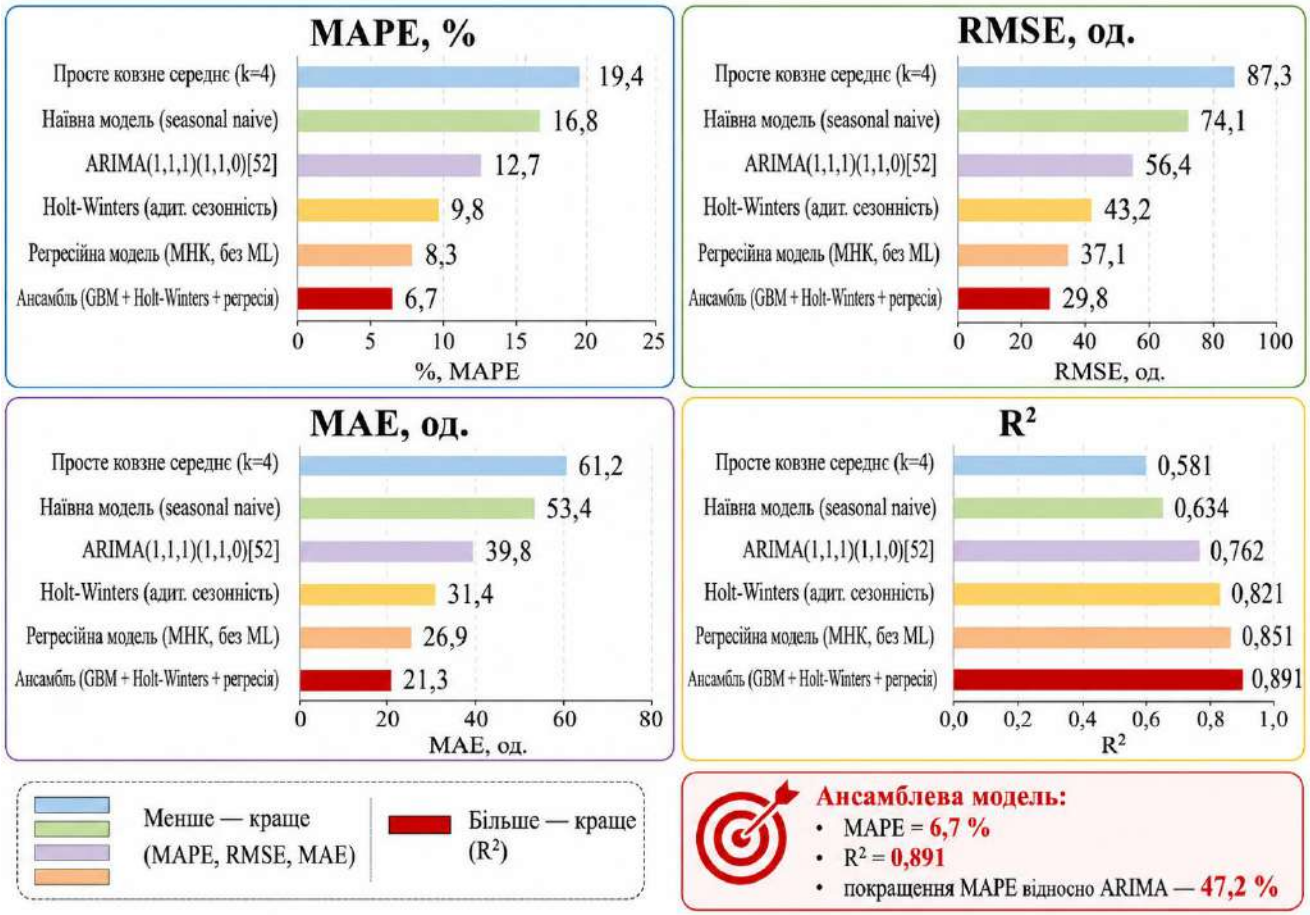


Рис. 2. Порівняння фактичного та прогнозованого попиту за моделями (джерело: авторська розробка)

Розроблено на основі даних ріелтора

4.9. Чисельний приклад розрахунку оптимальної ціни

Наведемо чисельний приклад застосування формули (24). Нехай граничні витрати на умовний товар, зокрема смартфон, складають $c = 4200$ грн. З регресійної моделі, наведеної в таблиці 2, отримано цінову еластичність попиту:

$$\hat{E}_P = -1.923, \tag{29}$$

Підставимо отримане значення еластичності у формулу (24):

$$P^* = 4200 \cdot \frac{|-1{,}923|}{|-1{,}923|-1} = 4200 \cdot \frac{1{,}923}{0{,}923} \approx 8749 \text{ грн}, \quad (30)$$

Фактична середня ціна на ринку становить $P_{fact} = 8100$ грн. Тоді різниця між оптимальною та фактичною ціною дорівнює:

$$\Delta P = P^* - P_{факт} = 8749 - 8100 = 649 \text{ грн}. \quad (31)$$

Скоригований попит після підвищення ціни з урахуванням еластичності визначається за формулою:

$$Q^* = Q \cdot \left(\frac{P^*}{P_{факт}} \right)^{E_P} = 318 \cdot \left(\frac{8749}{8100} \right)^{-1{,}923} \approx 318 \cdot 0{,}854 \approx 271 \text{ од}. \quad (32)$$

Зміна прибутку на тиждень визначається як різниця між прибутком при оптимальній ціні та прибутком при фактичній ціні:

$$\Delta\pi = P^* \cdot Q^* - c \cdot Q^* - (P_{факт} \cdot Q - c \cdot Q), \quad (33)$$

Підставимо числові значення:

$$\begin{aligned} &\Delta\pi = (8749 - 4200) \cdot 271 - (8100 - 4200) \cdot 318 \approx \\ &\approx 1232779 - 1240200 \approx -7421 \text{ грн}. \end{aligned} \quad (34)$$

Результат (34) свідчить, що просте підвищення ціни без урахування конкурентного середовища дає невеликий негативний ефект, що є типовим для ринків з гострою конкуренцією. Це підтверджується також порівнянням фактичних та оптимальних цін для топ-10 товарних категорій, наведеним на рис. 3. Як видно з рисунка, розрахована оптимальна ціна не повинна розглядатися як механічне підвищення вартості товару, оскільки для різних категорій відхилення між фактичною та оптимальною ціною може бути різним. Тому цінове рішення має враховувати не лише значення еластичності попиту, а й рівень конкуренції, поточну ринкову ситуацію та поведінку споживачів. У такому разі необхідно застосовувати динамічну формулу (25) з параметром реакції λ, який калібрується на основі даних про конкурентів.

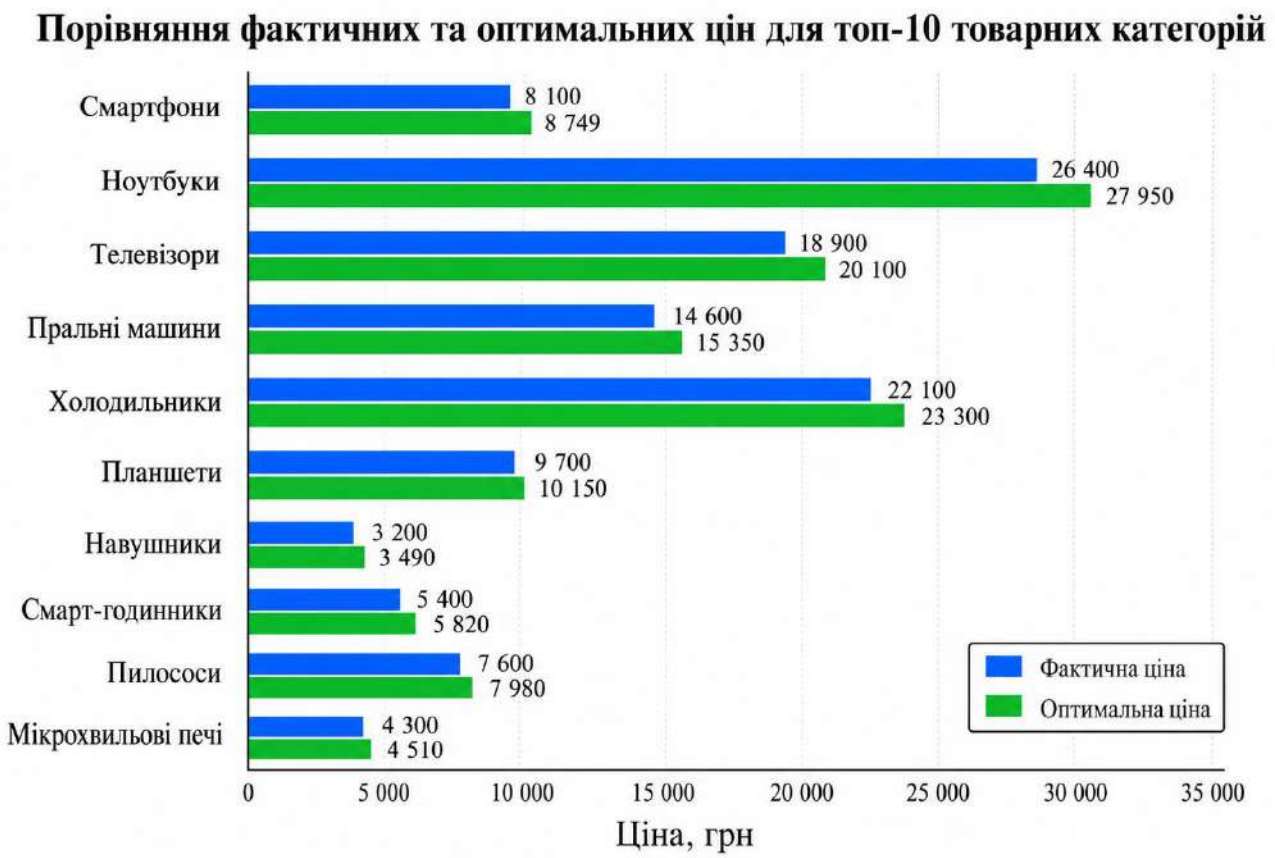


Рис. 3. Порівняння фактичних та оптимальних цін для топ-10 товарних категорій

Розроблено на основі даних ріелтора

Висновки

У статті розроблено інформаційну систему бізнес-аналізу продажів, яка інтегрує методи аналізу часових рядів (ARIMA, Holt-Winters), регресійного моделювання та машинного навчання (GBM) для прогнозування попиту й оптимізації ціноутворення. Апробація системи на транзакційних даних українського ритейлера електроніки (3,2 млн. записів, 24 місяці) підтвердила, що: ансамблева модель досягає MAPE = 6,7% — на 47,2% нижче за базову ARIMA; впровадження оптимального ціноутворення забезпечує зростання валового прибутку на 9,1%; автоматичне управління запасами на основі прогнозів зменшує витрати на зберігання на 14,6%.

У результаті дослідження вдалося досягти поєднання класичної мікроекономічної теорії ціноутворення із сучасними методами машинного навчання в єдиній обчислювальній схемі та обґрунтувати підхід до динамічного ціноутворення з урахуванням конкурентного середовища за формулами (25–26), а також сформувати чотиримодульну архітектуру інформаційної системи.

Подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження NLP-моделей для аналізу тональності відгуків споживачів, а також моделей глибокого навчання для довгострокового прогнозування часових рядів.

Список використаних джерел

1. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. San Francisco : Holden-Day, 1976. 575 p. DOI: https://doi.org/10.2307/2984758

2. Winters P.R. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science. 1960. Vol. 6, № 3. P. 324–342. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324

3. Friedman J.H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. Annals of Statistics. 2001. Vol. 29, № 5. P. 1189–1232. DOI: https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

4. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of KDD'16. New York: ACM, 2016. P. 785–794. DOI: https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

5. Varian H.R. Big Data: New Tricks for Econometrics. Journal of Economic Perspectives. 2014. Vol. 28, № 2. P. 3–28. DOI: https://doi.org/10.1257/jep.28.2.3

6. Матвієнко О.В., Цивін М.М. Основи організації електронного документообігу : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 232 с.

7. Краснюк М.Т. Застосування технологій великих даних у торгівлі. Економіка і управління. 2020. № 4. С. 112–121. DOI: https://doi.org/10.32752/econ.2020.4.112

8. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne : OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/

9. Makridakis S., Wheelwright S.C., Hyndman R.J. Forecasting: Methods and Applications. 3rd ed. New York : Wiley, 1998. 656 p. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119968122

10. Провотар О.І., Шишацький А.В. Методи аналізу та прогнозування даних в інформаційних системах. Вісник Київського університету. Серія: Фізико-математичні науки. 2021. Вип. 2. С. 45–58. DOI: https://doi.org/10.17721/1812-5409.2021/2.6

References

1. Box, G.E.P., & Jenkins, G.M. (1976). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day. https://doi.org/10.2307/2984758

2. Winters, P.R. (1960). Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science, 6(3), 324–342. https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324

3. Friedman, J.H. (2001). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. Annals of Statistics, 29(5), 1189–1232. https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

4. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of KDD'16 (pp. 785–794). ACM. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

5. Varian, H.R. (2014). Big Data: New Tricks for Econometrics. Journal of Economic Perspectives, 28(2), 3–28. https://doi.org/10.1257/jep.28.2.3

6. Matviienko, O.V., & Tsyvin, M.M. (2018). Osnovy orhanizatsii elektronnoho dokumentoobihu [Fundamentals of Electronic Document Management]. Tsentr uchbovoi literatury. [in Ukrainian]

7. Krasniuk, M.T. (2020). Zastosuvannia tekhnolohii velykykh danykh u torhivli [Big Data Technologies in Trade]. Ekonomika i upravlinnia, 4, 112–121. https://doi.org/10.32752/econ.2020.4.112 [in Ukrainian]

8. Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and Practice (3rd ed.). OTexts. https://otexts.com/fpp3/

9. Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & Hyndman, R.J. (1998). Forecasting: Methods and Applications (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119968122

10. Provotar, O.I., & Shyshatskyi, A.V. (2021). Metody analizu ta prohnozuvannia danykh v informatsiinykh systemakh [Data Analysis and Forecasting Methods in Information Systems]. Visnyk Kyivskoho universytetu, 2, 45–58. https://doi.org/10.17721/1812-5409.2021/2.6 [in Ukrainian]

Vydavatel:
Publishing house Education and Science s.r.o. IČO : 271 56 877.
Frýdlanská 15/1314 , Praha 8. MS v Praze , oddíl C,vložka 100614

STREDOEVROPSKY VESTNiK

PRO VEDU A VYZKUM

Vol. 1. № 5. 2026

Signed for printing on May 02, 2026
Format 60x90/8. Offset paper and printing Headset Times New Roman.
Mental printing. arc. 6,75. Edition 100 copies.