



**RIGA NORDIC
UNIVERSITY**

Riga Nordic University



**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ А.С. МАКАРЕНКА**

**Sumy State Pedagogical
University named after
A. S. Makarenko**

**THE EDUCATIONAL ECOSYSTEM
OF INFORMATICS: CONTENT,
METHODOLOGY,
AND DIGITAL SOLUTIONS**

Scientific monograph



**IZDEVNIECĪBA
BALTIJA
PUBLISHING**

2026

*Recommended for printing and distribution via Internet
by the Academic Council of Baltic Research Institute
of Transformation Economic Area Problems according
to the Minutes № 5 dated 27.05.2026*

REVIEWERS:

Romans Djakons - Doctor of Engineering, Professor, Academician, Chairman of the Board of Riga Nordic University;

Dehtiarova Nelia Valentynivna – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Informatics, Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko;

Petrenko Sergii Ivanovych – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Informatics, Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko;

Yurchenko Artem Oleksandrovych – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Informatics, Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko.

The Educational Ecosystem of Informatics: Content, Methodology, and Digital Solutions: Scientific monograph.
Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2026. 188 p.

ISBN 978-9934-26-696-6

© Riga Nordic University, 2026
© Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES UNDER SOCIETY'S TRANSFORMATION

Chapter 1

AI-Driven Pseudo-Learning in Higher Education: Detection, Prevention and Development of Digital Resilience in Data-Driven Learning Environments (Rudenko Yu. O., Viunenko O. B., Dehtiarova N. V.)	2
1. Phenomenology of AI-driven Pseudo-Learning	3
2. International and Domestic Experience in Countering Pseudo-Learning: Strategies for Digital Adaptation and Resilience	7
3. Methodological Architecture for the Detection and Prevention of Pseudo-Learning	9

Chapter 2

Theoretical and Market Aspects of the Digital Transformation in Education (Shestak Ya. I., Zavorodnya E. O., Savon O. Ye.)	19
1. The Conceptual Foundations and Driving Forces of Digital Transformation in Education	20
2. Trends in the Global EdTech Market and the Digitalisation of Education	34

MODERNIZING THE PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE INFORMATICS TEACHERS

Chapter 3

Team Interaction as a Component of Modernizing the Professional Training of the Pre-service Computer Science Teacher (Yurchenko A. O., Semenikhina O. V.)	54
1. Analysis of Current Research	55
2. Methods	66
3. Results	68
4. Discussion	109

DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCIES AMONG PARTICIPANTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Chapter 4

Peculiarities of Forming a Culture of Future Teachers in the Use of Digital Tools in the Educational Process

(Dehtiarova N. V., Onishchenko M. L.) 127

1. Theoretical Foundations of Forming a Culture of Using Digital Tools 128

2. Features of Forming a Culture of Using Digital Tools Among Future Teachers 141

Chapter 5

Formation of the Information and Digital Competence of the Modern Teacher (Petrenko S. I.)

1. Structure and Content of the Information and Digital Competence of the Modern Teacher 155

2. Criteria, Indicators, and Levels of Formation of the Information and Digital Competence of Future Teachers 171

01

SECTION



DIGITAL TECHNOLOGIES UNDER SOCIETY'S TRANSFORMATION

AI-DRIVEN PSEUDO-LEARNING IN HIGHER EDUCATION: DETECTION, PREVENTION AND DEVELOPMENT OF DIGITAL RESILIENCE IN DATA-DRIVEN LEARNING ENVIRONMENTS

Rudenko Yu. O., Viunenko O. B., Dehtiarova N. V.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-696-6-1>

INTRODUCTION

The rapid integration of generative artificial intelligence (GenAI) into the higher education landscape has marked the beginning of a new era, where the accessibility of knowledge is no longer a limiting factor. However, alongside undeniable positive aspects – such as personalized learning, automation of routine tasks, and the ability to instantaneously process vast datasets – a sharp systemic contradiction arises. Artificial intelligence, intended to serve as a «cognitive enhancer», is increasingly being transformed into a tool for the imitation of intellectual activity, giving rise to the phenomenon of AI-driven pseudo-learning.

A key problem of the modern digital transformation in education is the formation of an «illusion of knowledge». By delegating complex analytical and creative tasks to algorithms, students achieve flawless results without undergoing the necessary cognitive journey. As noted by Gimpel, Hall, and Decker¹, this creates an effect of «cognitive passivity», where the speed of obtaining an answer replaces the depth of understanding. In data-driven environments, education faces the risk of «human exclusion» from the process of critical thinking, leading to total AI-dependency and the loss of academic authenticity.

The problem of learning imitation in the context of digitalization is within the focus of many domestic and foreign scholars. Specifically, the issues of information hygiene and the gap between self-assessed skills and the actual state of digital tool proficiency have been investigated by Yu. Rudenko,

¹ Gimpel H., Hall K., Decker S. Uncovering the Illusion of Knowledge: A Study on AI-assisted Pseudo-learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 6. P. 100198. DOI: 10.1016/j.caeai.2024.100198

M. Drushliak, and O. Semenikhina². Questions of digital resilience and the adaptation of educational systems to AI challenges have been analyzed by N. Morze and L. Varchenko-Trotsenko, as well as S. Seufert, J. Guggemos, and M. Sailer. The ethics and systemic risks of using LLM models in education are examined in the works of E. Kasneci and O. Zawacki-Richter. Furthermore, the «black box» problem and the necessity of Explainable AI (XAI) to prevent pseudo-knowledge are emphasized by German researchers H. Fischer, C. Helbig, and H. Kilian.

The aim of this research is to develop a methodological model for detecting and overcoming pseudo-learning in intelligent educational environments by fostering the digital resilience of users and implementing learning analytics tools.

This work attempts to answer the fundamental question: «*Will education work at all in the AI era?*» by proposing a transition from passive adaptation to the active design of resilient

1. Phenomenology of AI-driven Pseudo-Learning

The modern paradigm of digital education is rooted in the idea of maximizing ease of access to information. However, as R. Luckin³ argues, this very ease becomes a primary cognitive barrier, giving rise to the «pseudo-learning trap». At the core of this phenomenon lies a specific psychological effect: receiving a structured, grammatically correct, and logically sound response from Generative AI instantaneously creates a false sense of competence in the student—a phenomenon known as the illusion of explanatory depth.

According to H. Gimpel, K. Hall, and S. Decker⁴, a user who receives a ready-made intellectual product without the preliminary stage of data searching and filtering subconsciously attributes the algorithm's cognitive efforts to themselves. This leads to a distorted self-assessment of skills, which records a significant gap between the subjective confidence of youth in their information literacy and their actual proficiency.

In the context of AI-driven environments, a fundamental gap widens between two types of knowledge:

² Rudenko Y. et al. Development of Youth Information Hygiene Skills: The Gap Between the Self-Assessment and Real State. *E-Learning and Enhancing Soft Skills*. Springer, Cham, 2025. P. 89–104. DOI: 10.1007/978-3-031-82243-8_5

³ Luckin R. Towards AI-augmented Human Intelligence: Beyond the Pseudo-Learning Trap. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2024. Vol. 34. P. 12–25. DOI: 10.1007/s40593-023-00382-x

⁴ Gimpel H., Hall K., Decker S. Uncovering the Illusion of Knowledge: A Study on AI-assisted Pseudo-learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 6. P. 100198. DOI: 10.1016/j.caeai.2024.100198

- Declarative knowledge («knowing what») – facts, concepts, and definitions that AI generates instantly.
- Procedural understanding («knowing how») – the ability to apply information, analyze connections, and synthesize new meanings, which must emerge directly within the learner.

The crux of the problem is that procedural understanding is impossible without effortful processing. As J. Richter and K. Scheiter⁵ point out, the cognitive durability of knowledge is directly proportional to the energy expended on its acquisition. When a student delegates the «thinking» stage to artificial intelligence, they bypass critical phases of encoding information into long-term memory.

In this context, pseudo-learning is defined as the process of absorbing or transmitting AI-generated outputs where the formal presence of an answer is not accompanied by an internal cognitive transformation of the subject.

The absence of effort leads to several negative consequences:

- The «Fluid Knowledge» effect: Information that has not been critically processed is subject to immediate passive forgetting.
- Cognitive Passivity: The development of a habit of relying on external intellectual resources, which reduces neuroplasticity and the capacity for concentration.
- Inability to Transfer Knowledge: A student may successfully pass an AI-generated test but find themselves entirely incapable of applying this «knowledge» in non-standard situations or practical cases where an algorithmic answer is unavailable.

Thus, the accessibility of GenAI transforms learning from an active process of knowledge construction into a passive process of content consumption. As emphasized by S. Seufert et al.⁶ without the purposeful development of digital resilience, education risks turning into a mechanical manipulation of symbols devoid of real intellectual experience.

The transformation of artificial intelligence from a supporting tool into an indispensable element of intellectual labor has led to a phenomenon researchers describe as an «external cognitive prosthesis». As M. Bearman and R. Ajjawi⁷

⁵ Richter J., Scheiter K. Pseudo-learning vs. Deep Learning: Detecting Cognitive Passivity in AI-supported Environments. *Educational Psychology Review*. 2025. Vol. 37, No. 1. P. 56–78. DOI: 10.1007/s10648-024-09881-4

⁶ Seufert S., Guggemos J., Sailer M. Digital Resilience in Higher Education: Navigating the Risks of AI-Dependency. *European Journal of Education*. 2024. Vol. 59, No. 2. P. 201–219. DOI: 10.1111/ejed.12644

⁷ Bearman M., Ajjawi R. Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. *British Journal of Educational Technology*. 2023. Vol. 54, No. 5. P. 1160–1173. DOI: 10.1111/bjet.13337

argue, the problem lies not in the technology itself, but in the gradual delegation of core thinking functions to algorithms, leading to systemic AI-dependency. In this context, «cognitive prosthetics» becomes a risk because, instead of expanding human capabilities, it causes the atrophy of natural analytical skills.

One of the most critical systemic risks is the development of automation bias. This is a cognitive bias where an individual tends to trust AI decisions or assertions implicitly, ignoring their own judgment or contradictory facts. According to S. Becker⁸, in the educational process, this manifests as students' refusal to verify generated content; they perceive a grammatically perfect AI response as a priori true. Such intellectual submissiveness blocks the development of fact-checking skills, which form the foundation of information hygiene, as discussed by B. Stamov and S. Handschuh⁹.

The systemic delegation of cognitive tasks to AI triggers the degradation of the following fundamental skills:

- Information Synthesis: The ability to independently assemble disparate data into a coherent logical structure. When AI automatically generates conclusions, the student loses the ability to see interconnections between complex phenomena.

- Argumentation and Reflection: The capacity to construct and defend one's own position. As noted by E. R. Mollick and L. Mollick¹⁰, using AI as a «thought generator» deprives the individual of the need for internal dialogue and the search for counterarguments, which are critical for academic discussion.

- Critical Source Evaluation: In environments where AI synthesizes answers without clear attribution (or with hallucinated references), the user loses the habit of consulting primary sources.

Research by Yu. Rudenko and colleagues¹¹ emphasizes that the formation of cybersecurity and information hygiene skills directly depends on the capacity for critical analysis of the digital environment. However, AI-dependency creates an effect of «intellectual laziness», where the complexity of a task is perceived as an undesirable barrier rather than an opportunity for development.

⁸ Becker S. Künstliche Intelligenz in der Hochschullehre: Zwischen Effizienzsteigerung und dem Risiko des Kompetenzverlusts. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*. 2024. Jg. 19, Nr. 1. S. 21–39. DOI: 10.3217/zfhe-19-01/02

⁹ Stamov B., Handschuh S. Information Hygiene and AI: Detecting Synthetic Content in Student Submissions. *Communications in Computer and Information Science*. 2023. Vol. 1876. S. 312–326. DOI: 10.1007/978-3-031-43401-3_22

¹⁰ Mollick E. R., Mollick L. Assigning AI: Seven Approaches for Students, with a Focus on Critical Thinking. *SSRN Electronic Journal*. 2023. P. 1–45. DOI: 10.2139/ssrn.4475995

¹¹ Rudenko Y. et al. Development of Youth Information Hygiene Skills: The Gap Between the Self-Assessment and Real State. *E-Learning and Enhancing Soft Skills*. Springer, Cham, 2025. P. 89–104. DOI: 10.1007/978-3-031-82243-8_5

In summary, digital delegation creates an illusion of efficiency, behind which lies the progressive atrophy of analytical abilities. While traditional education was built on overcoming intellectual resistance, AI-driven education—oriented toward minimizing effort—risks raising a generation of users capable of operating tools but unable to understand the logic of their work or the consequences of the results obtained. As N. Pinkwart¹² warns, without conscious resistance to this trend, human agency in decision-making may be permanently replaced by algorithmic conclusions.

Pseudo-learning becomes a systemic effect characterized by cognitive passivity and the imitation of activity within the «Student – AI – Instructor» triangle. In this context, pseudo-learning ceases to be merely an individual student's problem, taking on the signs of institutional degradation. As M. Bearman and R. Ajjawi¹³ observe, we are witnessing the formation of an «educational theater», where technologies are used not to deepen understanding but to maintain the formal procedures of the academic process.

A central element of this section is the analysis of the diffusion of responsibility within the «Student – AI – Instructor» triangle:

1. The Student (Input-imitation): Uses generative models to quickly create essays, solve problems, or write code. The goal is not to master a competency but to close a formal knowledge deficit (deadline) with minimal time expenditure.

2. Artificial Intelligence (Mediator): Acts as a neutral content generator that optimizes the student's request, creating a product that externally meets academic standards but lacks intellectual subjectivity.

3. The Instructor (Output-imitation): Under excessive workload, increasingly delegates the verification and grading of work to automated systems (AI detectors, plagiarism checkers, or LLM models for peer review).

This creates a «circle of zero learning»: an algorithm writes a paper for an algorithm that grades it, while the human capital of both parties remains disengaged. This phenomenon is described by Y. K. Dwivedi et al.¹⁴ as a crisis of academic authenticity, where the value of learning as a process is negated by the speed of obtaining a result.

¹² Pinkwart N. Künstliche Intelligenz und Bildung: Von der algorithmischen Analyse zur Förderung menschlicher Urteilskraft. *Informatik Spektrum*. 2024. Bd. 47. S. 88–96. DOI: 10.1007/s00287-024-01532-w

¹³ Bearman M., Ajjawi R. Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. *British Journal of Educational Technology*. 2023. Vol. 54, No. 5. P. 1160–1173. DOI: 10.1111/bjet.13337

¹⁴ Dwivedi Y. K. et al. «So what if AI wrote it?» The character, challenges, and opportunities of generative AI. *International Journal of Information Management*. 2023. Vol. 71. P. 102642. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642

Within this methodology, the term «empty learning» is proposed, characterized by:

- Formalism of Metrics: High grades and successful course completion despite the student's actual inability to replicate the logic of a solution without network access.
- Syntactic Literacy vs. Semantic Emptiness: Assignments look professional but contain no unique authorial insights or critical reflection.
- Loss of Agency: The student stops being the «author» of their knowledge, becoming merely a «prompt-operator», which contradicts the classical goal of higher education.

The systemic effect of such an approach is devastating: real human capital development trends toward zero despite positive success statistics. As O. Zawacki-Richter¹⁵ notes, if the educational system does not shift its focus from «outcome verification» to «process monitoring», it risks turning into a mechanism for issuing diplomas without corresponding competencies.

In light of this, there is a necessity to implement Learning Analytics, as mentioned by Yu. Rudenko and colleagues¹⁶, not merely for performance tracking but for detecting anomalies in user behavior that indicate imitative activity. Only by dismantling this «imitation triangle» is a return to authentic learning in data-driven environments possible.

To complete the analysis of the first chapter, it is necessary to consider how leading European educational systems are adapting to AI challenges. The German-speaking scientific community (DACH: Germany, Austria, Switzerland) is currently among the most reflective on this issue, emphasizing ethics and the preservation of human agency.

2. International and Domestic Experience in Countering Pseudo-Learning: Strategies for Digital Adaptation and Resilience

Modern higher education is in a state of global search for a balance between technological efficiency and the preservation of the cognitive autonomy of the learner. An analysis of the experiences of European countries and Ukraine allows for the identification of key vectors in the transformation of educational systems in response to the challenges of AI-driven imitation.

European Experience: Ethics and «Digitaler Humanismus» Leading European educational systems (notably Germany, Switzerland, and the United

¹⁵ Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2020. Vol. 16, No. 39. P. 1–27. DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0

¹⁶ Rudenko Y. et al. Development of Youth Information Hygiene Skills: The Gap Between the Self-Assessment and Real State. *E-Learning and Enhancing Soft Skills*. Springer, Cham, 2025. P. 89–104. DOI: 10.1007/978-3-031-82243-8_5

Kingdom) demonstrate a transition from attempts to ban AI to the development of comprehensive «AI competence» frameworks (KI-Kompetenz).

- In the German-Swiss model, emphasis is placed on «productive failure» (S. Seufert, S. Becker), where tasks are designed such that AI provides only superficial answers, forcing the student to engage in a critical confrontation with the algorithm¹⁷.

- The British model (R. Luckin) focuses on the transparency of the «cognitive path», requiring students to demonstrate their query history and reflect on every step of their interaction with AI, making the learning process visible and resilient to imitation.

- The Ukrainian model for forming digital resilience is unique, as it is built under conditions of extreme digitalization and constant information threats. Research by Yu. Rudenko, M. Drushliak, O. Semenikhina, and other domestic scholars emphasizes that in Ukraine, digital resilience is viewed not merely as an academic skill but as the foundation of information hygiene.

- A distinctive feature of the Ukrainian approach is bridging the gap between students' high self-assessment of digital skills and their actual vulnerability to the «illusion of knowledge».

- The use of mathematical modeling methods (e.g., the Saaty method) for choosing learning strategies allows Ukrainian researchers to create precise tools for detecting anomalies in user behavior.

Synthesis of Approaches and Conclusion on the Necessity of the Model
A comparative analysis of global and domestic practices suggests that despite a high level of theoretical understanding of the problem, education still lacks an integrated toolkit that allows for the objective measurement and prompt correction of the level of pseudo-learning in real-time.

The justified necessity for developing an original methodological model (DRI and PLR) arises from the following factors:

1. Subjectivity of Existing Metrics: Most modern approaches rely on student self-reports or manual instructor verification, which is inefficient in the context of mass education. An automated tool based on Learning Analytics is required.

2. The Need for Prevention: Traditional methods (plagiarism detection) only identify the result of imitation. Our model aims to detect the *process* of AI-dependency formation at the early stage of the «illusion of knowledge».

3. Resilience as a Target Indicator: Defining the Digital Resilience Index (DRI) will allow for a shift in focus from controlling the student to developing their internal mechanisms of protection against cognitive degradation.

¹⁷ Seufert S., Guggemos J., Sailer M. Digital Resilience in Higher Education: Navigating the Risks of AI-Dependency. *European Journal of Education*. 2024. Vol. 59, No. 2. P. 201–219. DOI: 10.1111/ejed.12644

Thus, the development of a methodological model for detecting and overcoming pseudo-learning is a critically necessary step to ensure the viability of higher education in the age of artificial intelligence. It is not merely a control tool but a strategic architecture for preserving human capital within intelligent educational environments.

3. Methodological Architecture for the Detection and Prevention of Pseudo-Learning

The transition from a conceptual analysis of AI-related risks to the practical management of the educational process requires a clear parameterization of the core research variables. Building upon the risks of cognitive degradation and imitative learning identified in Chapter 1, this section proposes an instrumental model designed to translate these threats into the domain of measurable risks and counter-strategies.

According to our methodology, evaluating the effectiveness of learning in AI-driven environments is based on monitoring two integral indicators: the cognitive passivity threat indicator, Pseudo-Learning Risk (PLR), and the indicator of a subject's capacity for critical resistance and adaptation – the Digital Resilience Index (DRI).

Pseudo-Learning Risk is defined as the probability that a student achieves a formal learning outcome (a completed task) without a corresponding cognitive transformation. Unlike static plagiarism detection methods, PLR is a dynamic metric based on the analysis of the «digital footprint» (learning analytics).

The key parameters for calculating PLR are:

1. Temporal Anomaly (T): The ratio of the time spent by the student on the task t_{fact} to the normative time t_{norm} required for a human to independently process such an amount of information. An anomalous reduction in time $T \rightarrow 0$ serves as the primary marker of uncritical delegation of functions to AI.

2. Structural Monotonicity (S): An indicator of the monotonicity of modifications. In authentic learning, the text creation graph is iterative (pauses, deletions, rephrasing). In pseudo-learning, «block insertion» (copy-pasting) is observed, recorded as low structural variability.

3. Semantic Consistency Gap (C): The discrepancy between the semantic complexity of the output and the student's prior cognitive profile.

Mathematically, the risk of pseudo-learning can be represented as a function:

$$\text{PLR} = f(T, S, C)$$

where a high PLR value indicates the imitation of activity and the formation of the «illusion of knowledge» as described by H. Gimpel¹⁸.

The Digital Resilience Index (DRI) serves as an indicator of student agency. It measures the level of «critical engagement» and the information hygiene of the user. To objectify the DRI, we distinguish three levels of resilience:

- Reactive (Basic): The ability to identify obvious errors and AI «hallucinations».
- Proactive (Technological): Proficiency in prompt engineering for data verification and structuring one's own ideas rather than replacing them.
- Transformational (Cognitive): The ability to synthesize new knowledge based on a critical evaluation of algorithmic recommendations.

DRI parameters include:

- Verification Rate (V): The number of external links and sources cited by the student to verify AI claims.
- Argumentation Depth (A): The proportion of original text containing critical analysis or refutation of AI proposals.
- Methodological Awareness (M): The ability to justify the choice of a specific AI tool for solving a subtask.

The central hypothesis of the model's construction is the assertion of an inverse relationship between these indicators: an increase in DRI leads to an automatic decrease in PLR. This creates the foundation for a validation model where the instructor evaluates not only the «correctness» of the answer but also the «quality of the cognitive path».

As emphasized by Yu. Rudenko and colleagues¹⁹, using such integrated indicators allows for overcoming the limitations of traditional assessment. Implementing PLR and DRI into the learning process provides the instructor with an objective picture: whether the student is an active researcher or merely a «data operator» captive to algorithmic recommendations.

This parameterization serves as the basis for designing the architecture of an analytical module capable of processing data for large groups of students (100+). To transition from theoretical measurement to practical monitoring in large cohorts (80–100 people), the architecture of the analytical module must be based on objective «digital footprint» metrics. The prototype module is envisioned as an analytical superstructure that integrates with cloud environments and visualizes learning dynamics.

¹⁸ Gimpel H., Hall K., Decker S. Uncovering the Illusion of Knowledge: A Study on AI-assisted Pseudo-learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 6. P. 100198. DOI: 10.1016/j.caeai.2024.100198

¹⁹ Rudenko Y. et al. Development of Youth Information Hygiene Skills: The Gap Between the Self-Assessment and Real State. *E-Learning and Enhancing Soft Skills*. Springer, Cham, 2025. P. 89–104. DOI: 10.1007/978-3-031-82243-8_5

The structural and logical construction of the module consists of four levels that ensure the transformation of raw data into strategic decisions for the instructor.

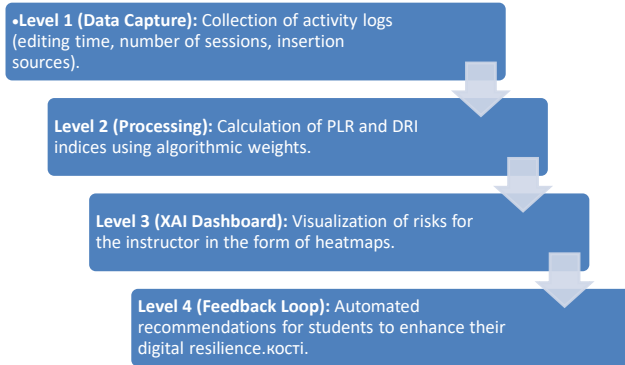


Fig. 1. Architectural diagram of the module

The central component of the analytical module is the formula for determining the intensity of cognitive contribution (I_{cog}), which enables the identification of pseudo-learning. If the obtained result significantly exceeds the individual capacity of the student within a short period, the system flags it as a high PLR Risk.

To calculate this, we use the following normalized coefficient:

$$I_{cog} = \frac{\Delta V}{\Delta t(1 + Rsyn)}$$

ΔV – the volume of meaningfully significant text (number of characters/words);

Δt – the actual time spent in the document (active session);

$Rsyn$ – the indicator of syntactic complexity (determined via average sentence length and domain-specific terminology).

Where:

If $I_{cog} > I_{max}$ (where I_{max} is the upper limit of human productivity, typically 60–80 words/min for creative writing), the system signals the likely uncritical generation of content by AI.

For an instructor working with large groups without specialized IT training, the module offers a choice of tools depending on the type of learning activity (Table 1).

Table 1

Instrumental Base of the Analytical Module for Large Groups

Tool Type	Analytics Object	PLR Detection Method	Advantage for the Instructor (100+ students)
Cloud Docs (Google/MS)	Version history	Analysis of «block insertions» and pauses	Automatic video playback of the process (Draftback)
Version Control (GitHub)	Commit history	Frequency and content of iterative changes	Clear visualization of progress over time
Interactive Boards (Miro)	Spatial connections	Logic of mind map construction	Simultaneous monitoring of the entire group on one screen
Video Validation (Loom)	Meta-cognition	Express explanation of the cognitive path	Rapid verification of knowledge authenticity

The module prototype involves creating a control panel where each student is represented in a two-dimensional coordinate system: Pseudo-Learning Risk (PLR) – Digital Resilience (DRI).

This allows the instructor to instantly divide the flow into segments:

1. Autonomous Researchers (Low PLR, High DRI) – require minimal intervention.
2. Risk Group (High PLR, Low DRI) – require additional consultation and a review of task design.
3. Mechanical Performers (Low PLR, Low DRI) – students who work independently but exhibit low efficiency in using digital tools.

The implementation of such an analytical module ensures a transition from «outcome control» to «process management», which is the only effective way to preserve the quality of education in an environment of total access to artificial intelligence.

The final stage of the methodology is the re-engineering of educational design. If the analytical module identifies a problem, this section proposes strategies for its neutralization through the creation of AI-resilient tasks. The primary goal is to transform AI from an «answer generator» into a «tool for thinking», thereby increasing the student's Digital Resilience Index (DRI).

To minimize Pseudo-Learning Risk (PLR), it is proposed to shift the assessment focus from the final text to the stages of its creation. This is implemented through a system of «iterative drafts», where the instructor evaluates:

- The logic of prompt formulation (queries to the AI);
- Critical analysis of the initial (often imperfect) AI response;
- The process of integrating AI-generated content with the author’s own arguments.

Such a design forces the student to undergo a stage of «effortful processing», which, as established in Section 1.1, is a mandatory condition for deep knowledge acquisition.

Within the framework of the project, a system of tasks has been developed aimed at fostering information hygiene and critical thinking (Table 2).

Table 2

Task Models for Neutralizing Pseudo-Learning

Method Name	Task Essence	Role of AI	Expected Outcome (DRI)
Hallucination Hunt	Identify 3 factual errors in an AI-generated text	Source of «raw» content	Verification and fact-checking skills
Socratic Dialogue	Conduct a discussion with the AI, where the student must convince the model of the opposite point of view	Opponent in discussion	Argumentation and critical thinking
Reflective Prompting	Describe why a specific query was chosen and how it evolved	Assistant	Metacognitive awareness
Synthesis of Contradictions	Force the AI to generate two polar opinions and write an original synthesis	Provider of alternatives	Synthesis and evaluation skills

A crucial aspect is the implementation of protocols for the responsible use of AI. Students must learn to perceive algorithms not as the ultimate truth, but as probabilistic statistical models. In practice, this is achieved through mandatory attribution:

1. Labeling AI content: A clear distinction between the author's original thought and the model's suggestions.
2. Declaration of limitations: The student must indicate which specific risks (bias, outdated data) they identified in the model used.

The developed methodological architecture, based on the PLR and DRI indices, allows for shifting the discourse on AI in education from the plane of «prohibit or allow» to the plane of «quality management». The prototype of the analytical module, combined with task re-engineering, creates conditions under which pseudo-learning becomes technically more difficult and less beneficial for the student than actual cognitive development.

The proposed model is scalable and can be integrated into the digital learning environments of universities as a tool for ensuring academic authenticity and forming a new elite of specialists capable of productive collaboration with artificial intelligence without losing human agency.

CONCLUSIONS

The monograph provides a theoretical generalization and proposes a new solution to the pressing scientific and applied problem of fostering digital resilience and information hygiene within the intelligent educational environments of higher education institutions, particularly under the active implementation of Big Data, learning analytics, and artificial intelligence.

An analysis of modern approaches to the digital transformation of education reveals that learning individualization based on Big Data is a key trend in higher education. Concurrently, it is proven that the increasing role of algorithmic systems is accompanied by risks of bias, over-automation of decision-making, and a decline in students' critical thinking.

It is substantiated that learning personalization in digital educational environments should be viewed not merely as a technological process of content adaptation, but as a complex pedagogical system encompassing the cognitive, behavioral, and ethical aspects of user interaction with data and algorithms.

Digital resilience is defined as an integral competence that ensures a student's ability to critically evaluate the outputs of intelligent systems, resist algorithmic distortions, and maintain decision-making autonomy within a digital environment.

The essence of information hygiene is revealed as a system of principles and practices for responsible data use, spanning technical, cognitive, behavioral, and institutional levels, serving as a necessary condition for the secure functioning of educational analytical systems.

A conceptual model of digital resilience is proposed, based on the integration of four components (cognitive, critical-analytical, behavioral, and ethical). This model functions within a closed-loop educational data processing cycle: from data collection to decision-making and feedback.

A methodology for evaluating digital resilience has been developed based on the integral Digital Resistance Index (DRI), which allows for the quantitative assessment of competence development and the tracking of its dynamics during the learning process.

A mechanism for integrating the model into higher education learning platforms is proposed, involving the use of LMS systems, Big Data analytics, visualization dashboards, Explainable AI (XAI), and interactive prompts to support decision-making and enhance students' critical thinking.

It is proven that the implementation of Explainable AI (XAI) and visualization tools in educational systems increases the transparency of algorithmic decisions, fosters user trust, and mitigates the risks of uncritical acceptance of system recommendations.

The expediency of applying the developed model in the fields of Smart Farming and Precision Agriculture is substantiated, where digital resilience acts as a critical competence for future agricultural specialists working with vast arrays of agro-data.

It is established that integrating digital resilience and information hygiene into higher education curricula ensures the formation of a new type of professional competence – the ability for critical interaction with intelligent systems in the context of the digital economy.

In conclusion, this monograph addresses the scientific and applied task of developing the conceptual and methodological foundations for fostering digital resilience in intelligent educational environments. The results are interdisciplinary, merging pedagogy, computer science, Big Data analytics, and digital agricultural technologies.

The proposed approaches create a theoretical and practical foundation for the further development of adaptive educational systems oriented toward the safe, ethical, and effective use of data, as well as the training of a new generation of specialists capable of critical engagement with digital technologies and intelligent systems.

SUMMARY

This monograph addresses the critical scientific and applied challenge of preserving human agency and cognitive autonomy in the era of Generative AI (GenAI) and Big Data. The research investigates the phenomenon of AI-driven pseudo-learning – a systemic contradiction where the accessibility of algorithmic answers leads to the «illusion of knowledge» and the atrophy of critical thinking skills.

The study introduces a novel methodological framework based on two integral indicators:

1. Pseudo-Learning Risk (PLR): A dynamic metric that detects cognitive passivity by analyzing digital footprints, temporal anomalies, and structural monotonicity in student work.
2. Digital Resilience Index (DRI): A measure of a learner's capacity for critical engagement, verification, and responsible interaction with intelligent systems.

The author proposes a prototype for an analytical module designed for large-scale educational cohorts. This module utilizes Explainable AI (XAI)

and visualization dashboards to transition from «outcome control» to «process management». Furthermore, the work provides practical strategies for educational re-engineering, offering a system of AI-resilient tasks (e.g., Socratic Dialogue, Hallucination Hunt) aimed at fostering information hygiene.

The findings are interdisciplinary, extending beyond general pedagogy into specialized fields such as Smart Farming and Precision Agriculture, where data-driven resilience is a vital professional competency. This monograph serves as a strategic architecture for higher education institutions seeking to integrate AI ethically while safeguarding the development of real human capital in the digital economy.

Bibliography

1. Віннічук А. П. Психологічні аспекти ШІ-залежності в студентському середовищі. *Psychology and Social Work*. 2023. Vol. 29, No. 2. P. 77–89. DOI: 10.18524/2707-0409.2023.2(58).293104

2. Яцишин А. В. та ін. Застосування ШІ-рішень у підготовці докторантів в умовах воєнного стану. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. Vol. 2611. P. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/2611/1/012015

3. Analyzing the Results of a Study of the Effectiveness of Developing Students' Cybersecurity Skills / Y. Rudenko et al. *2025 48th ICT and Electronics Convention, MIPRO 2025 – Proceedings*. Opatija, 2025. P. 428–433. DOI: 10.1109/MIPRO65660.2025.11132016

4. Bearman M., Ajjawi R. Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. *British Journal of Educational Technology*. 2023. Vol. 54, No. 5. P. 1160–1173. DOI: 10.1111/bjet.13337

5. Becker S. Künstliche Intelligenz in der Hochschullehre: Zwischen Effizienzsteigerung und dem Risiko des Kompetenzverlusts. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*. 2024. Jg. 19, Nr. 1. S. 21–39. DOI: 10.3217/zfhe-19-01/02

6. Bodnenko T. V., Kuchakovska H. S. Digital competence of higher education teachers in the context of AI integration. *Information Technologies and Learning Tools*. 2024. Vol. 100, No. 2. P. 15–30. DOI: 10.33407/itl.v100i2.5412

7. Dratsch T., Chen X., Toll V. KI-Kompetenz in der akademischen Ausbildung: Strategien gegen die digitale Abhängigkeit. *DMW – Deutsche Medizinische Wochenschrift*. 2024. Jg. 149, Nr. 4. S. 212–218. DOI: 10.1055/a-2155-9821

8. Dwivedi Y. K. et al. «So what if AI wrote it?» The character, challenges, and opportunities of generative AI. *International Journal of Information Management*. 2023. Vol. 71. P. 102642. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642

9. Effectively Learning Ukrainian Practices of Forming Young Media Literacy / Yu. Rudenko et al. 2023 *46th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2023 – Proceedings*. Opatija, 2023. P. 512–517.
10. Fischer H., Helbig C., Kilian H. XAI in der Hochschulbildung: Erklärbare KI als Werkzeug zur Vermeidung von Scheinwissen. *Journal of Educational Technology Systems*. 2023. Vol. 52, No. 2. S. 145–167. DOI: 10.1177/00472395231198542
11. Gimpel H., Hall K., Decker S. Uncovering the Illusion of Knowledge: A Study on AI-assisted Pseudo-learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 6. P. 100198. DOI: 10.1016/j.caeai.2024.100198
12. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education. *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. P. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274
13. Köhler T., Thinsungnoen T. Digitale Resilienz in datengesteuerten Lernumgebungen: Konzepte für die Hochschulbildung der Zukunft. *MedienPädagogik*. 2024. Bd. 56. S. 112–134. DOI: 10.21240/mpaed/56/2024.03.15.X
14. Luckin R. Towards AI-augmented Human Intelligence: Beyond the Pseudo-Learning Trap. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2024. Vol. 34. P. 12–25. DOI: 10.1007/s40593-023-00382-x
15. Modeling the choice of an online course for information hygiene skills using the Saaty Method / Y. O. Rudenko et al. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2024. Vol. 14, No. 2. P. 127–132. DOI: 10.35784/iapgos.5621
16. Mollick E. R., Mollick L. Assigning AI: Seven Approaches for Students, with a Focus on Critical Thinking. *SSRN Electronic Journal*. 2023. P. 1–45. DOI: 10.2139/ssrn.4475995
17. Morze N. V., Varchenko-Trotsenko L. O. Formation of digital resilience of students in the era of generative AI. *Open Educational E-Environment of Modern University*. 2024. No. 16. P. 34–48. DOI: 10.28925/2414-0325.2024.163
18. Pinkwart N. Künstliche Intelligenz und Bildung: Von der algorithmischen Analyse zur Förderung menschlicher Urteilskraft. *Informatik Spektrum*. 2024. Bd. 47. S. 88–96. DOI: 10.1007/s00287-024-01532-w
19. Richter J., Scheiter K. Pseudo-learning vs. Deep Learning: Detecting Cognitive Passivity in AI-supported Environments. *Educational Psychology Review*. 2025. Vol. 37, No. 1. P. 56–78. DOI: 10.1007/s10648-024-09881-4
20. Rudenko Y. et al. Development of Youth Information Hygiene Skills: The Gap Between the Self-Assessment and Real State. *E-Learning*

and Enhancing Soft Skills. Springer, Cham, 2025. P. 89–104. DOI: 10.1007/978-3-031-82243-8_5

21. Semenikhina O. V., Drushlyak M. G., Shyshkina M. P. Digital transformation of education: challenges and prospects of artificial intelligence in the educational process. *Scientific Notes of Ostroh Academy*. 2024. No. 38. P. 45–56. DOI: 10.25264/2519-2558-2024-15

22. Seufert S., Guggemos J., Sailer M. Digital Resilience in Higher Education: Navigating the Risks of AI-Dependency. *European Journal of Education*. 2024. Vol. 59, No. 2. P. 201–219. DOI: 10.1111/ejed.12644

23. Stamov B., Handschuh S. Information Hygiene and AI: Detecting Synthetic Content in Student Submissions. *Communications in Computer and Information Science*. 2023. Vol. 1876. S. 312–326. DOI: 10.1007/978-3-031-43401-3_22

24. Vakaliuk T. A. et al. The use of AI-based tools in the adaptive learning systems. *Educational Technology Quarterly*. 2024. Vol. 2024, No. 1. P. 110–128. DOI: 10.55056/etq.682

25. Zawacki-Richter O., Marin V. I., Bond M. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2020. Vol. 16, No. 39. P. 1–27. DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0

Information about the authors:

Rudenko Yuliia Oleksandrivna,

Doctor of Pedagogical Sciences,

Associate Professor at the Department of Cybernetics and Informatics

Sumy National Agrarian University

160, Herasya Kondratieva street, Sumy, Ukraine

Viunenko Oleksandr Borysovykh,

Candidate of Economic Sciences,

Associate Professor at the Department of Cybernetics and Informatics

Sumy National Agrarian University

160, Herasya Kondratieva street, Sumy, Ukraine

Dehtiarova Nelia Valentynivna,

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Informatics

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko

87, Romenska street, Sumy, Ukraine

ТЕОРЕТИЧНІ ТА РИНКОВІ АСПЕКТИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ

Шестак Я. І., Завгородня Є. О., Савон О. Є.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-696-6-2>

ВСТУП

Розвиток цифрових технологій докорінно змінив сучасні системи освіти, трансформуючи не лише способи надання знань, а й інституційні, економічні та організаційні основи освітнього процесу. Цифрова трансформація освіти все частіше розглядається як системне явище, що відображає ширші процеси глобальної цифровізації, розширення цифрової економіки та посилення міжнародної взаємозалежності. А отже, освітні технології (EdTech) стали провідним інструментом та механізмом інновацій, що дозволяють створювати адаптивні моделі, масштабовані та персоналізовані навчальні середовища. Наразі зростаюча кібернетична залежність від ІКТ-інфраструктури принесла нові вразливості, що робить кібербезпеку важливим компонентом сталого розвитку інформаційних систем, зокрема і в сфері освіти.

Актуальність цього дослідження полягає в потребі аналізу взаємозв'язку між цифровою трансформацією освіти та сталим розвитком ринку освітніх технологій. Це питання є важливим для інформаційних систем та приєднанні цифрової освіти до глобальної економічної інфраструктури, де захист даних, інтелектуальної власності та цифрової ідентичності стає критично важливою передумовою для ефективної міжнародної співпраці.

Відповідно, наше дослідження має на меті зробити внесок у теоретичне розуміння цифрової освіти через інтеграцію економічних, технологічних та безпекових перспектив в єдину аналітичну основу.

Об'єктом дослідження є процес цифрової трансформації освіти в межах глобальної цифрової економіки.

Предметом дослідження є економічні та технологічні аспекти розвитку цифрової освіти.

Методологічна основа дослідження включає поєднання загальнонаукових та спеціалізованих методів, зокрема: аналіз та синтез

для узагальнення теоретичних підходів; порівняльний аналіз для вивчення міжнародного досвіду в цифровій освіті та розвитку ринку освітніх технологій; та структурно-функціональний аналіз для вивчення компонентів систем цифрової освіти.

Структуру розділу визначено логікою дослідницьких цілей і поділено на два основні підрозділи. У першому підрозділі розглядаються концептуальні основи та рушійні сили цифрової трансформації освіти. У другому підрозділі аналізується світовий ринок освітніх технологій.

1. Концептуальні основи та детермінанти цифрової трансформації освіти

Цифрова трансформація освіти стала центральною сферою досліджень у ширшому контексті глобальної цифровізації та переходу до економіки знань. З соціально-економічної точки зору, цифровізація освіти все частіше тлумачиться як об'єктивний та закономірний процес, зумовлений розвитком інформаційного суспільства. Іншими словами, цифровізація освіти є конвергенцією технологічних, матеріальних та соціально-гуманітарних практик, які разом формують структуру та логіку функціонування сучасних освітніх систем¹. Такий підхід підкреслює, що цифрова трансформація є не просто інновацією, але й структурною необхідністю, що зумовлена попитом на нові компетенції (зокрема цифрову грамотність) та потребою узгодити освітні системи з вимогами цифрової економіки.

Цифрова освіта пов'язана зі швидким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та розширенням інтернет-інфраструктури. Зокрема, вона визначається як цифровізація сегмента освітньої системи, яка фундаментально змінила комунікацію, співпрацю та доступ до знань у глобальному масштабі². Додатково, цифрові технології сприяли безпрецедентному доступу до інформації та значно розширили можливості для інтерактивного та спільного навчання³.

Історичний розвиток освіти від традиційних, стандартизованих систем до «гнучких», персоналізованих та технологічно опосередкованих моделей демонструє, що цифрова трансформація є новим етапом

¹ Ніколаєску І., Шинкарьова В. Цифровізація освіти як сучасна вимога інформаційного суспільства. *Перспективи та інновації науки*. 2022. № 2 (7). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-2\(7\)-914-923](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-2(7)-914-923)

² Alenezi M., Wardat S., Akour M. The Need of Integrating Digital Education in Higher Education: Challenges and Opportunities. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 6. P. 4782. URL: <https://doi.org/10.3390/su15064782>

³ Gambo Danmuchikwali B., Muhammad Suleiman M. Digital education: opportunities, threats, and challenges. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*. 2020. Vol. 11, no. 2. P. 78–83. URL: <https://doi.org/10.21009/10.21009/jep.0126>

еволюції, що характеризується інтеграцією передових технологій, таких як штучний інтелект (ШІ) та імерсивні середовища⁴. Важливо, що ця трансформація відображає не лише технологічні зміни, але й зрушення в педагогічних парадигмах, переходячи від підходів, орієнтованих на вчителя, до підходів, орієнтованих на учня та заснованих на здобутті компетенцій.

Цифрова трансформація освіти відбувається одночасно на рівні глобальних систем та політик (марко-рівень), інституційних структур та технологій (мезо-рівень), а також індивідуальних процесів навчання та викладання (мікро-рівень)⁵, тим самим підкреслюючи складність процесів цифрової освіти та наголошуючи на необхідності інтегрованих підходів, що враховують взаємодію на різних рівнях. Тобто, цифрова освіта охоплює трансформацію освітніх систем, практик та взаємодій за допомогою ІКТ, функціонуючи як соціально-технічна екосистема, так і компонент глобальної цифрової економіки (табл. 1).

На педагогічному рівні цифрова трансформація пов'язана з появою нових моделей навчання, які наголошують на персоналізації, інтерактивності та активній участі учнів. Цифрові технології дозволяють створювати адаптивні системи навчання, середовища для співпраці та ціннісно-орієнтовані освітні підходи, які підтримують не лише академічні досягнення, але й розвиток критичного мислення та соціальних компетенцій⁶. Водночас важливою є роль освітян, яка еволюціонує від передавачів знань до посередників та оркестраторів освітніх процесів⁷.

Таблиця 1

Підходи до трактування терміну «цифрова освіта»

Підхід	Перспектива	Визначення
Технологічний	ІКТ-інструменти, цифрові платформи, ІКТ-інфраструктура	використання та інтеграція ІКТ, цифрових платформ та ПЗ для підтримки освітнього процесу

⁴ Yıldız T. The Future of Digital Education: Artificial Intelligence, the Metaverse, and the Transformation of Education. *Istanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi / Istanbul University Journal of Sociology*. 2025. Vol. 44, no. 2. P. 921–940. URL: <https://doi.org/10.26650/sj.2024.44.2.0664>

⁵ Zawacki-Richter O., Bozkurt A. Research Trends in Open, Distance, and Digital Education. *Handbook of Open, Distance and Digital Education*. Singapore, 2022. P. 1–23. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0351-9_12-1

⁶ Vettriselvan R. Empowering Digital Education. *Empowering Value Co-Creation in the Digital Era*. 2025. P. 199–228. URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1742-7.ch009>

⁷ Dillenbourg P. The Evolution of Research on Digital Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016. Vol. 26, no. 2. P. 544–560. URL: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z>

Продовження таблиці 1

Процесний	зміни та трансформації	безперервний процес трансформації освітніх систем, моделей та практик через інтеграцію ІКТ, створюючи нові форми викладання, навчання та управління
Системний	складність та взаємопов'язаність елементів	цілісна екосистема, що складається з технологічних, інституційних, педагогічних та людських компонентів, які взаємодіють у цифровому середовищі та створюють знання
Педагогічний	методи викладання та навчання	форма освітньої практики, яка використовує цифрові інструменти для впровадження персоналізованих та інтерактивних моделей навчання
Компетентнісний	результати навчання та навички	система розвитку цифрових компетенцій (інформаційної грамотності, комунікативних навичок та здатності діяти в цифровому середовищі)
Економічний	освіта як частина цифрової економіки	сектор цифрової економіки, що включає виробництво, розповсюдження та споживання освітніх послуг за допомогою цифрових технологій та платформ
Інституційний	регулювання, управління та політика	форма організації та управління освітою, в якій прийняття рішень, моніторинг та оцінювання опосередковується цифровими системами, даними та алгоритмами
На основі платформ	цифрові платформи та платформізація	освітня модель, структурована навколо цифрових платформ, які забезпечують взаємодію між студентами, викладачами та освітнім контентом
Соціо-культурний	суспільний та культурний вплив	соціокультурне явище, що відображає трансформацію практик навчання, моделей комунікації та «виробництва» знань у цифровому суспільстві
Інклюзивний	доступність та рівність	підхід до навчання, який використовує цифрові технології для забезпечення інклюзивної, справедливої та доступної освіти для різних груп студентів

Джерело: узагальнено авторами

Крім того, сучасна освіта розглядається в контексті цифрових освітніх середовищ, які більше не сприймаються як ізольовані системи, а як відкриті, розподілені та взаємопов'язані платформи⁸. Така трансформація зумовлена конвергенцією технологічних інновацій та нових освітніх теорій, що наголошують на співпраці, адаптивності та прийнятті рішень на основі даних. Відкриті освітні платформи та ресурси розглядаються як критично важливі інструменти для демократизації доступу до освіти; проте залишаються значні проблеми у забезпеченні рівного доступу та участі, особливо для маргіналізованих груп⁹. Відповідно, диверсифікація освітніх цифрових платформ відображає перехід від монолітних навчальних систем до складних, модульних та сумісних цифрових екосистем, де численні платформи виконують взаємодоповнюючі функції в рамках освітнього процесу (рис. 1).

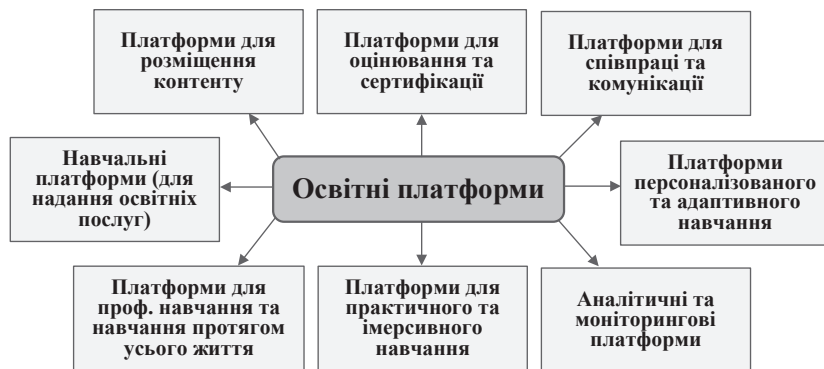


Рис. 1. Функціональні групи освітніх платформ

Джерело: узагальнено авторами

Загалом, до основних функціональних завдань наведених на рис. 1 платформ є:

- забезпечення, організація та керування освітнім процесом (наприклад, доступом до курсів, матеріалів та структурованих освітніх заходів);
- оцінювання результатів навчання, проведення підсумкового контролю та видача сертифікатів, дипломів тощо;

⁸ Dillenbourg P. The Evolution of Research on Digital Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016. Vol. 26, no. 2. P. 544–560. URL: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z>

⁹ Inclusive Digital Education on Open Platforms: A Case Study of the Complexity of the Future of Education / M.-S. Ramirez-Montoya et al. *Computers in the Schools*. 2024. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1080/07380569.2024.2322164>

- сприяння взаємодії, комунікації та співпраці між учасниками освітнього процесу;
- підвищення рівня залученості в освітній процес та забезпечення інтерактивного та симуляційного навчального досвіду;
- персоналізація траєкторії навчання, надавання «інтелектуалізованого» зворотного зв'язку та адаптування контенту до індивідуальних потреб учня/студента;
- збір, аналіз та візуалізація освітніх даних для моніторингу та підтримки прийняття рішень;
- підтримка безперервного професійного розвитку, перепідготовки та підвищення кваліфікації у формальній та неформальній освіті.

Хартія державних платформ цифрової освіти (розроблена ЮНЕСКО, ЮНІСЕФ та Міжнародним союзом електрозв'язку) встановлює нормативну основу для розвитку та управління екосистемами цифрової освіти на національному рівні¹⁰. Вона розглядає цифрові платформи не як окремі технологічні рішення, а як невід'ємні компоненти освітньої системи, що поєднують інфраструктуру, контент та зацікавлені сторони для підтримки процесів викладання та навчання. Важливо, що документ закріплює принципи, що освіта залишається суспільним благом та фундаментальним правом людини, тим самим позиціонуючи цифрові платформи як додаткові інструменти, що покращують, а не замінюють традиційні форми освіти.

Хартія є особливо актуальною, оскільки вона наголошує на ролі урядів у забезпеченні доступності, якості та сталості цифрових освітніх інфраструктур. Відсутність надійних публічних платформ часто призводить до посилення залежності від рішень приватного сектору, що може створювати ризики, пов'язані з невідповідністю цілям державної політики, управлінням даними та безпекою. У розробленому документі запропоновано сім принципів функціонування державних освітніх інформаційних цифрових платформ, які охоплюють:

- державне управління та фінансування під наглядом державних органів;
- інклюзивність, зокрема доступність, багатомовну підтримку та культурну релевантність;
- навчання під керівництвом викладача;
- інтеграцію з системами освіти та державною ІКТ-інфраструктурою;
- сумісність систем та відкриті стандарти;

¹⁰ Charter for Public Digital Learning Platforms. URL: https://www.unicef.org/digitaleducation/media/2261/file/UNESCO-UNICEF-ITU_Charter_Public_Digital_Learning_Platforms.pdf

- орієнтованість на користувача, що ґрунтується на освітніх потребах;
- надійність та стабільність систем, зокрема захист персональних даних, безпека та безперервність.

Тому, цифрові платформи дедалі більше визнаються ключовою інфраструктурою, що формує освітні практики, погоджує інституційні механізми управління. Така тенденція зосереджує необхідність подолання цифрової нерівності та розробки інклюзивного цифрового освітнього середовища. Крім того, платформи функціонують самостійно не тільки як технологічні інструменти, а й як організаційні та економічні суб'єкти, які впливають на структуру та динаміку систем освіти¹¹. Цей процес тісно пов'язаний зі зростанням платформного капіталізму та ролей приватних суб'єктів в освіті.

Інституційні перспективи ще більше підкріплюють ідею про те, що цифровізація змінює функції та обов'язки освітніх закладів. Інтеграція цифрових технологій дозволяє ефективніше організувати пізнавальну діяльність, впроваджувати персоналізовані траєкторії навчання та створювати відкриті освітні системи. Водночас вона висуває нові вимоги щодо управління, розподілу ресурсів та розробки інституційних стратегій цифрової трансформації¹². Всі ці зміни наявні у спеціалізованих вищих освітніх закладах, де цифровізація пов'язана безпосередньо з формуванням професійних компетенцій відповідно до вимог ринку праці.

Паралельно з цим, концепція цифрового управління освітою набула популярності. Управління освітою все більше опосередковується цифровими системами, включаючи платформи аналізу даних, алгоритми та інформаційні інфраструктури, що забезпечують процеси моніторингу, оцінки та прийняття рішень¹³. Тобто, поступово відбувається перехід від традиційних форм управління до моделей, що ґрунтуються на даних та підтримуються алгоритмами, що залучають ширше коло учасників, включаючи уряди, міжнародні організації та технологічні компанії (рис. 2).

¹¹ Decuyper M., Grimaldi E., Landri P. Introduction: Critical studies of digital education platforms. *Critical Studies in Education*. 2021. Vol. 62, no. 1. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.1080/17508487.2020.1866050>

¹² Строчкий П.С. Цифровізація вищої освіти у закладах вищої освіти із специфічними умовами навчання: адміністративно-правові засади. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*. 2025. Т. 4, № 88. С. 279–285. URL: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.88.4.41>

¹³ Williamson B. Digital education governance: An introduction. *European Educational Research Journal*. 2015. Vol. 15, no. 1. P. 3–13. URL: <https://doi.org/10.1177/1474904115616630>

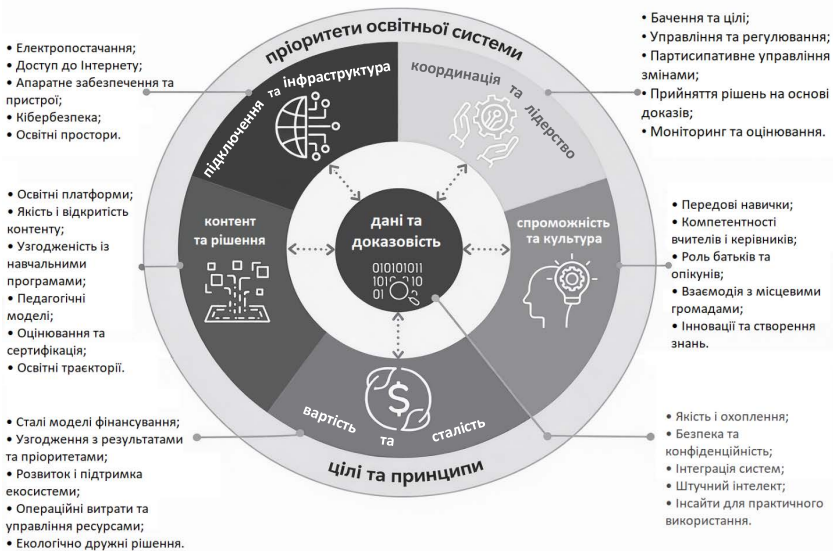


Рис. 2. Основні елементи цифрової трансформації освіти

Джерело: перекладено з ¹⁴

Розроблена ЮНЕСКО концепція цифрової трансформації освіти (рис. 2) відображає концептуальну модель пріоритетів розвитку освітньої системи, побудовану на основі інтеграції даних та доказів як центрального елемента прийняття рішень. У центрі моделі розташовано компонент «дані та доказовість», який виступає головним джерелом аналітики, забезпечує обґрунтованість представлення управлінських рішень та слугує основою для моніторингу ефективності функціонування системи. А отже, цей елемент поєднує всі інші складові в єдину логічну систему, слугує зв'язком і підтримує їх належне функціонування.

Навколо цього елемента згруповано п'ять взаємопов'язаних доменів. Домен «координація та лідерство» охоплює стратегічний рівень управління, включаючи формування довгострокових орієнтирів, нормативне інформаційне забезпечення та організацію процесів змін. Домен «спроможність та культура» фокусується на людському потенціалі, підкреслюючи важливість розвитку професійних умінь учасників освітнього процесу, адаптації до майбутніх викликів і посилення взаємодії

¹⁴ Six pillars for the digital transformation of education: a common framework. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/ptf0000391299>

з ширшим соціальним середовищем. Домен «контент та рішення» передбачає врахування змістовного наповнення та інструментів реалізації освітнього процесу від цифрових середовищ до методичних підходів і процедур перевірки досягнень. Домен «підключення та інфраструктура» виділяє технічну основу функціонування системи, яка включає необхідні інфраструктурні ресурси та умови для стабільного й безпечного доступу до освітніх сервісів. Домен «вартість та сталість» відображає економічну складову, акцентуючи увагу на довгостроковому забезпеченні ресурсами, ефективності їх використання та екологічних аспектах. Зовнішній контур моделі відображає узагальнені пріоритети, принципи та цілі, які визначають стратегічний напрям розвитку освітньої системи.

Керівні принципи ЮНЕСКО забезпечують структурований та багатовимірний підхід до планування та впровадження політики впровадження й застосування ІКТ в освіті. Вони відображають перехід від традиційних, інституційно-орієнтованих моделей освіти до більш відкритих та людиноцентричних освітніх екосистем, що підтримуються ІКТ (рис. 3). Структура керівних принципів організована за двома ключовими критеріями:

1) горизонтально вона ілюструє еволюцію освітніх систем від формального шкільного середовища до більш розподілених контекстів навчання протягом усього життя (що поширюються на приватний та громадський простори);

2) вертикально вона визначає п'ять взаємопов'язаних областей, які разом формують трансформацію освіти через інтеграцію ІКТ.

Перша сфера зосереджена на результатах навчання та цінностях, підкреслюючи прогрес від базового набуття знань у фіксованих умовах до більш просунутих етапів, що включають безперервне створення знань, критичне мислення та формування цінностей у різних контекстах (відображаючи перехід до парадигм навчання протягом усього життя, що відповідають вимогам цифрового суспільства).

Друга сфера стосується практик викладання та навчання, підкреслюючи поступовий перехід від традиційного навчання в аудиторії у супроводі ІКТ до гібридних та повністю онлайн-моделей навчання. Зрештою, структура передбачає орієнтоване на учня/студента середовище, де ІКТ підтримують персоналізований навчальний досвід під керівництвом викладачів.

Третя сфера розглядає еволюцію ролі викладачів та інших фасилітаторів. Вона окреслює перехід від традиційних викладацьких ролей до складніших функцій, включаючи розробку навчальних матеріалів, сприяння змішаним освітнім середовищам та наставництво (тим самим, наголошуючи на важливості цифрових компетенцій та педагогічної адаптивності в сучасних системах освіти).

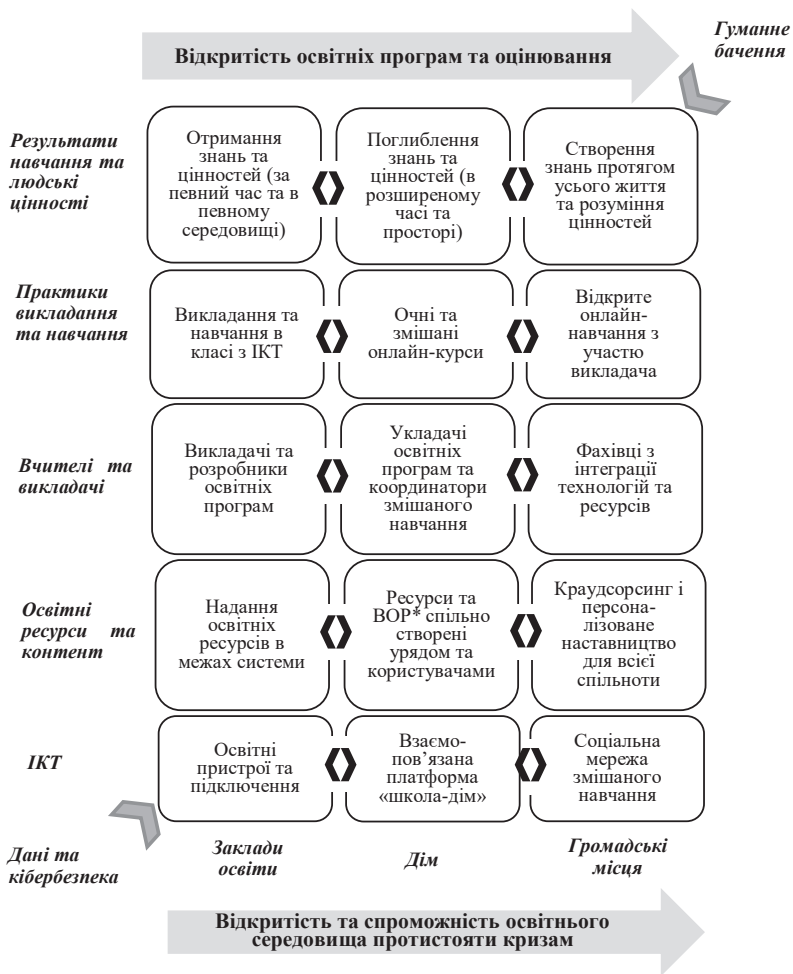


Рис. 3. Концепція планування політики ІКТ в освітньому процесі

Джерело: перекладено з ¹⁵

*Примітка: * – відкриті освітні ресурси*

Четверта сфера стосується освітніх ресурсів та надання контенту, передбачаючи перехід від централізовано створених освітніх матеріалів

¹⁵ Guidelines for ICT in education policies and masterplans. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380926>

до більш спільних та відкритих моделей (з використанням відкритих освітніх ресурсів та контенту, створеного користувачами). Подібний підхід підтримує більшу доступність, інклюзивність та адаптивність освітніх матеріалів.

П'ята сфера ґрунтується на ІКТ-інфраструктурі, описуючи розвиток інфраструктури від базового підключення на рівні освітньої установи до інтегрованих цифрових середовищ (для впровадження спільних взаємопов'язаних платформ та освітніх мереж, які забезпечують безперешкодний доступ до освітніх ресурсів).

Два загальні виміри доповнюють ці сфери: 1) верхня траєкторія наголошує на зростаючій відкритості та прозорості освітніх програм та оцінювання, що веде до більш гуманістичного бачення освіти; 2) нижня траєкторія наголошує увагу щодо важливості управління даними, рівню кібербезпеки та стійкості систем, які є критично важливими для забезпечення надійності та стійкості цифрових освітніх середовищ.

ІКТ є системним рушієм розвитку освіти, роль якого змінюється на різних рівнях – від забезпечення інфраструктури та формування базових навичок до передових застосувань у дослідженнях, управлінні та навчанні протягом усього життя (рис. 4). У цьому контексті визначені сфери можна інтерпретувати як політично орієнтовані рекомендації, що забезпечують послідовну та збалансовану інтеграцію ІКТ в освіту.

На рівні шкіл пріоритети наголошують на створенні міцної технологічної основи та систематичному розвитку цифрових компетенцій вчителів (оскільки це є критично важливим для забезпечення того, щоб будь-який стратегічний план виходив за рамки декларативної цифровізації та натомість дозволяв ефективне використання ІКТ у повсякденній педагогічній практиці).

Для вищої освіти рекомендовані цільові напрями підкреслюють необхідність системної трансформації, а не ізольованого впровадження технологій. Тому плани трансформації та розвитку повинні включати положення щодо розширення доступу до ІКТ через відкрите та дистанційне навчання, сприяння інноваціям у форматах навчання, розширення цифрових дослідницьких інфраструктур та покращення управління за допомогою систем управління. Крім того, акцент на рівності та інклюзивності вказує на прозорість, що стратегії ІКТ мають вирішувати проблеми нерівності в доступі та участі в освітньому процесі.

У секторі технічної та професійної освіти пріоритети наголошують на узгодженості між інтеграцією ІКТ та потребами ринку праці. Стратегічне планування має бути зосереджене на модернізації інфраструктури, оновленні освітніх програм відповідно до технологічних змін та

забезпеченні того, щоб випускники мали відповідні цифрові та професійні компетенції. Врахування елементів навчання протягом усього життя, а саме таких як можливості навчання тим, хто достроково залишив формальну освіту, та постійний професійний розвиток викладачів, який додатково свідчить про те, що генеральні плани повинні застосовувати адаптивний та інклюзивний підхід.

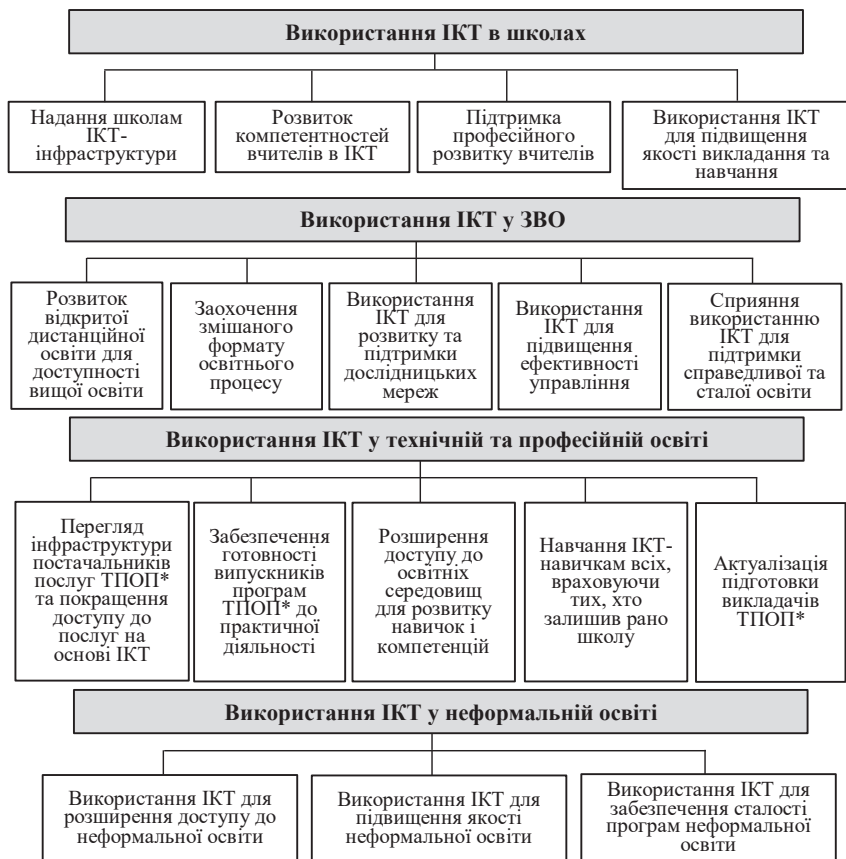


Рис. 4. Основні напрями розвитку ІКТ за рівнями освіти

Джерело: складено за ¹⁶

*Примітка: * – технічна та професійна освіта й підготовка*

¹⁶ Guidelines for ICT in education policies and masterplans. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380926>

У секторі неформальної освіти рекомендовані напрями діяльності забезпечують прозорість, доступність, якість та сталість. Тобто, ІКТ потрібно використовувати працівникам для розширення можливостей навчання всередині та за межами формальних інституційних умов, підтримуючи навчання протягом усього життя та забезпечуючи швидку адаптацію до нових освітніх потреб. Відповідно, стратегічні рамки повинні включати механізми підтримки цифрових платформ, забезпечення якості контенту та довгострокової життєздатності ініціатив неформальної освіти.

Рушійні сили цифрової трансформації освіти є багатогранними. Зокрема, дослідження демонструють, що рівень цифровізації освіти пов'язаний із соціально-економічними показниками, такими як рівень зайнятості та участь у навчанні протягом усього життя, що позиціонує цифрову трансформацію як освітній та економічний імператив¹⁷. Водночас, відмінності у впровадженні політики цифрової освіти в різних країнах свідчать про те, що темпи та ефективність трансформації залежать від національного рівня розвитку та інституційного потенціалу¹⁸. Пандемія COVID-19 широко визнана критичним поворотним моментом, який прискорив впровадження цифрової та дистанційної освіти на всіх рівнях та в усіх секторах, продемонструвавши важливість цифрової освіти для забезпечення безперервності та стійкості в період кризи¹⁹.

Технологічні фактори (зокрема швидкий розвиток ІКТ, ШІ та аналізу даних) відіграють ключову роль у формуванні нових освітніх можливостей. Водночас, брак впевненості вчителів, недостатня цифрова компетентність та обмежений доступ до технологічних ресурсів можна віднести до основних перешкод для ефективної інтеграції ІКТ²⁰. Відповідно, самої лише технологічної доступності недостатньо; успішна трансформація вимагає комплексних систем підтримки, включаючи професійний розвиток, технічну допомогу та достатній час для адаптації. Таким чином,

¹⁷ The influences of the digital revolution on the educational system of the EU countries / C. G. Cosmulese et al. *Marketing and Management of Innovations*. 2019. No. 3. URL: <https://doi.org/10.21272/mmi.2019.3-18>

¹⁸ The influences of the digital revolution on the educational system of the EU countries / C. G. Cosmulese et al. *Marketing and Management of Innovations*. 2019. No. 3. URL: <https://doi.org/10.21272/mmi.2019.3-18>

¹⁹ Zawacki-Richter O., Bozkurt A. Research Trends in Open, Distance, and Digital Education. *Handbook of Open, Distance and Digital Education*. Singapore, 2022. P. 1–23. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0351-9_12-1

²⁰ Bingimlas K. A. Barriers to the Successful Integration of ICT in Teaching and Learning Environments: A Review of the Literature. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2009. Vol. 5, no. 3. URL: <https://doi.org/10.12973/ejmste/75275>

людський капітал та механізми інституційної підтримки є критично важливими умовами для цифрової трансформації.

Крім того, на впровадження цифрових технологій в освіті значною мірою впливають сприйняття користувачів, технологічна готовність та якість викладання. Дослідження показують, що такі фактори, як сприйнята корисність, простота використання та передачі інформації, відіграють вирішальну роль у формуванні наміру впроваджувати ІКТ²¹. Аналогічно, постійне використання ІКТ залежить від задоволеності користувачів, культурних факторів та уникнення невизначеності, що ще більше підкреслює важливість поведінкових та контекстуальних детермінант²². Додатково, педагогічні та психологічні фактори є ключовими рушійними силами цифрової трансформації, особливо в контексті онлайн-освіти. Зокрема, на задоволеність студентів онлайн-навчанням впливає компетентність викладачів, дизайн курсів та орієнтація на ІКТ, а також індивідуальні риси характеру²³. До того ж, дослідження демонструють сильну кореляцію між роботою викладачів, задоволеністю студентів та академічними результатами в онлайн-курсах²⁴.

Політичні та інституційні рушійні сили також є важливими. Порівняльний аналіз національних систем освіти показує, що уряди дедалі більше надають пріоритет цифровим стратегіям, спрямованим на покращення викладання та навчання, сприяння прийняттю рішень на основі даних та інтеграцію нових технологій, таких як штучний інтелект, в освіту²⁵. Ці стратегії відображають зростаюче визнання цифрової освіти як ключового компонента економічної конкурентоспроможності та розвитку робочої сили. Відповідно, взаємодія факторів впливу на цифрову трансформацію освіти визначає не лише темпи цифровізації, але й її ефективність й стійкість, що вимагає цілісного та системного підходу до освітньої політики та інституційного розвитку (табл. 2).

²¹ Factors Affecting the Adoption of Digital Information Technologies in Higher Education: An Empirical Study / M. A. Almaiah et al. *Electronics*. 2022. Vol. 11, no. 21. P. 3572. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics11213572>

²² Determinants Influencing the Continuous Intention to Use Digital Technologies in Higher Education / M. A. Almaiah et al. *Electronics*. 2022. Vol. 11, no. 18. P. 2827. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics11182827>

²³ What Factors Impact Online Education? A Factor Analysis Approach / V. Kukreja et al. *Journal of Engineering Education Transformations*. 2021. Vol. 34. P. 365. URL: <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157180>

²⁴ Chitkushev L., Vodenska I., Zlateva T. Digital Learning Impact Factors: Student Satisfaction and Performance in Online Courses. *International Journal of Information and Education Technology*. 2014. Vol. 4, no. 4. P. 356–359. URL: <https://doi.org/10.7763/ijiet.2014.v4.429>

²⁵ Digital education strategies around the world: practices and policies / F. Gabriel et al. *Irish Educational Studies*. 2022. Vol. 41, no. 1. P. 85–106. URL: <https://doi.org/10.1080/03323315.2021.2022513>

Таблиця 2

Фактори впливу на цифрову трансформацію освіти

Група факторів	Приклади факторів
Технологічні	ІКТ-інфраструктура, ШСД, хмарні технології, системи управління навчанням, ШІ та МН, сумісність платформ, надійність ПЗ, масштабованість систем тощо
Інституційні (організаційні)	цифрові стратегії, моделі управління, адміністративна підтримка, практики управління змінами, внутрішні системи забезпечення якості, партнерство з постачальниками освітніх технологій, культура інновацій, інституційна автономія, механізми розподілу ресурсів тощо
Людські	цифрова грамотність учасників освітнього процесу, педагогічні цифрові навички, програми навчання вчителів, цифрове мислення, здатність використовувати ІКТ тощо
Педагогічні	якість розробки курсів, моделі навчання, студентоорієнтовані підходи до навчання, гібридні моделі навчання, узгодженість між цілями навчання та технологіями тощо
Психологічні й поведінкові	сприйнята корисність та зручність використання, мотивація та залученість, задоволення від онлайн-навчання, ставлення до інновацій, опір змінам, цифрова втома, поведінкові наміри щодо використання технологій тощо
Соціально-економічні	попит на ІКТ-навички на ринку праці, рівень економічного розвитку, цифровий розрив, доступність Інтернету, демографічні фактори, соціальна нерівність, доступ до пристроїв, тенденції зайнятості тощо
Політичні та регуляторні	національні стратегії цифрової освіти, політика інтеграції ІКТ, правові рамки для освіти, політика кібербезпеки, стандарти акредитації для онлайн-освіти, угоди про міжнародну співпрацю
Культурні	ставлення до впровадження технологій, відкритість до інновацій, довіра до цифрових систем, освітні традиції, відмінності між поколіннями, цифрова культура, цінності щодо освіти тощо
Фінансові	державні інвестиції в цифровізацію освіти, зростання ринку освітніх технологій, вартість ІКТ-інфраструктури, фінансування навчання викладачів, наявність грантів та міжнародного фінансування, витрати на обслуговування та оновлення, рентабельність інвестицій тощо

Джерело: складено авторами

Підсумовуючи, сучасні наукові дослідження вказують на взаємопов'язаний характер цих факторів, що свідчить про те, що цифрову

трансформацію слід розуміти як системний процес, а не як лінійне технологічне оновлення. Інституційний потенціал, людські ресурси, технологічна інфраструктура та політичні рамки взаємодіють, формуючи як можливості, так і обмеження.

2. Динаміка світового EdTech-ринку та цифровізації освіти

Сучасний розвиток світового ринку освітніх технологій демонструє трансформацію освітніх процесів, зумовлену широкомасштабним впровадженням ІКТ, зростанням інвестицій та розвитком педагогічних практик. Світовий EdTech-ринок оцінюють приблизно в 404 млрд USD у 2026 р. та, за прогнозами, він досягатиме 580 млрд USD до 2030 р. з сукупним річним темпом зростання 16,3%²⁶, що відображає зростаючий інституційний та суспільний попит на цифрові освітні рішення. Значна частка цього зростання зосереджена в ключових сегментах, таких як системи управління навчанням, які становлять найбільший сегмент ринку з обсягом 28 млрд USD, та корпоративне електронне навчання, оцінене в 42 млрд USD, де домінують навчання з дотримання вимог та підвищення кваліфікації робочої сили. Водночас ІІІ є найдинамічнішою сферою розширення, середньорічні темпи зростання якої перевищують 40%, що свідчить про перехід до персоналізованих освітніх середовищ, що базуються на даних²⁷.

Ключовим фактором зростання ринку є глобальний попит на доступну та адаптивну освіту, який прискорив впровадження онлайн- та гібридних моделей навчання. Ця тенденція була ще більше підсилена пандемією COVID-19, яка стала каталізатором для широкомасштабного процесу цифровізації освітніх середовищ по всьому світу²⁸. Як наслідок, заклади освіти, підприємства та окремі користувачі дедалі більше інвестують у цифрові освітні рішення, що забезпечують віддалений доступ, персоналізацію та масштабованість.

Однією з визначальних характеристик ринку освітніх технологій є його багатосегментна структура (табл. 3), яка охоплює формальну, неформальну та інформальну освіту.

²⁶ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

²⁷ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

²⁸ EdTech Statistics. URL: <https://careertrainer.ai/en/reports/edtech-statistics/>

Сегменти світового ринку освітніх технологій

Критерій	Сегменти	Формат доступу
Модель розгортання	хмарна та локальна	веб
Тип навчання	синхронне та асинхронне навчання	веб, мобільний
Сектор	школи, ЗВО, корпоративне та державне навчання, ін.	веб
Тип	АЗ, ПЗ, системи управління класом, системи управління документами, гейміфікація, системи управління навчанням, системи співпраці студентів, системи інформації та адміністрування даних студентів, системи опитування студентів, системи підготовки до тестувань, контент	веб, мобільний
Кінцевий користувач	корпоративний та особистий	веб, мобільний

Джерело: доповнено за ²⁹

Географічний розподіл ринку освітніх технологій підкреслює як домінування усталених ринків, так і зростаючу важливість країн, що розвиваються (рис. 5). Відповідно до прогнозів, північноамериканський EdTech-ринок матиме частку приблизно 34,5% в світових доходах ринку, зберігаючи свою лідируючу позицію завдяки передовій ІКТ-інфраструктурі та якісному ШСД³⁰. Розвиток 5G та збільшення державно-приватних інвестицій, прискорює впровадження інноваційних освітніх рішень та модернізацію освітніх систем у США та Канаді.

Крім того, ринок освітніх технологій в Азійсько-Тихоокеанському регіоні зростатиме в середньому на рівні 12,9% у 2026-2025 рр., що зумовлено збільшенням інвестицій в ІКТ та розширенням інфраструктури

²⁹ Education Technology (EdTech) Market Size & Share, by Deployment Mode (Cloud-based, On-premise); Learning Type; Sector; Type; End user – Global Supply & Demand Analysis, Growth Forecasts, Statistical Report 2026-2035. URL: <https://www.researchnester.com/reports/education-technology-market/3403>

³⁰ Education Technology (EdTech) Market Size & Share, by Deployment Mode (Cloud-based, On-premise); Learning Type; Sector; Type; End user – Global Supply & Demand Analysis, Growth Forecasts, Statistical Report 2026-2035. URL: <https://www.researchnester.com/reports/education-technology-market/3403>

цифрової освіти³¹. Присутність основних гравців ринку в таких країнах, як КНР, Індія, Японія та Республіка Корея, у поєднанні зі сприятливою державною політикою, сприяє впровадженню інноваційних рішень для цифрової освіти в усьому регіоні. Водночас, за прогнозами європейський EdTech-ринок займатиме другу за величиною частку в світі у 2035 р., завдяки передовій цифровізації, зростанню рівня проникнення Інтернету та освітнім ініціативам за підтримки ЄС³². Значний попит на персоналізовані освітні рішення ще більше стимулює регіональний ринок та впровадження онлайн-освітніх платформ.

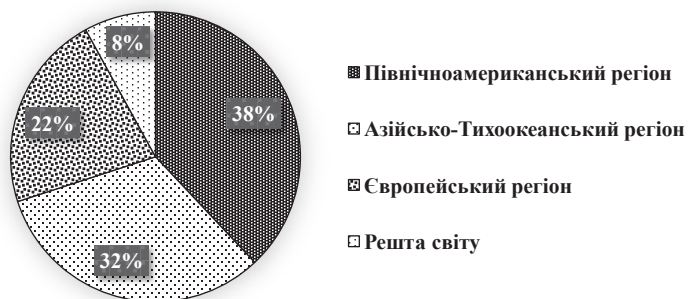


Рис. 5. Регіональні сегменти світового EdTech-ринку у 2026 р.

Джерело: перекладено з ³³

На рис. 6 показано розподіл компаній за сегментами глобального EdTech-ринку впродовж 2020-2025 рр., що вказує на структурну стабільність з лише помірними зрушеннями між сегментами. Найбільші частки постійно належать сегментам шкільної освіти та підготовки й розвитку робочої сили, які разом становлять більшу частину діяльності в галузі освітніх технологій. Хоча сегмент шкільної освіти домінував у 2020 р. (45%), його частка змінилася, а саме дещо зменшилася та стабілізувалася на рівні близько 37-39% у наступні роки, що може свідчити про відносно

³¹ Education Technology (EdTech) Market Size & Share, by Deployment Mode (Cloud-based, On-premise); Learning Type; Sector; Type; End user – Global Supply & Demand Analysis, Growth Forecasts, Statistical Report 2026-2035. URL: <https://www.researchnester.com/reports/education-technology-market/3403>

³² Education Technology (EdTech) Market Size & Share, by Deployment Mode (Cloud-based, On-premise); Learning Type; Sector; Type; End user – Global Supply & Demand Analysis, Growth Forecasts, Statistical Report 2026-2035. URL: <https://www.researchnester.com/reports/education-technology-market/3403>

³³ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

насичення та перерозподіл інвестиційних пріоритетів. Натомість, сегмент підготовки та розвитку робочої сили постійно змінюється, демонструє поступове зростання з 33% у 2020 р. до піку в 40% у 2022 р., перш ніж стабілізуватися приблизно на рівні 35% у 2025 р. Ця тенденція відображає попит на навчання упродовж усього життя, підвищення кваліфікації, перекваліфікації та узгодження з вимогами ринку праці. Сегмент вищої освіти зберігає постійну частку близько 19-21%, що свідчить про стабільне, але менш динамічне зростання порівняно з іншими сегментами. Сегмент дошкільної освіти демонструє незначну тенденцію до зростання, збільшившись з 3-4% у попередні роки до 6% у 2025 р., що свідчить про зростання інтересу інвесторів до технологій базової освіти.

Загалом, рис. 6 демонструє, попри розвиток EdTech-ринку у відповідь на глобальні інвестиційні моделі та технологічні тенденції, його основна секторальна структура залишається стійкою. Зростаюча популярність рішень корпоративного навчання та стійкий попит на систему освіти від дошкільної ланки до повної середньої освіти підкреслює подвійний акцент як на базовій освіті, так і на безперервному професійному розвитку в рамках глобальної екосистеми цифрової освіти.

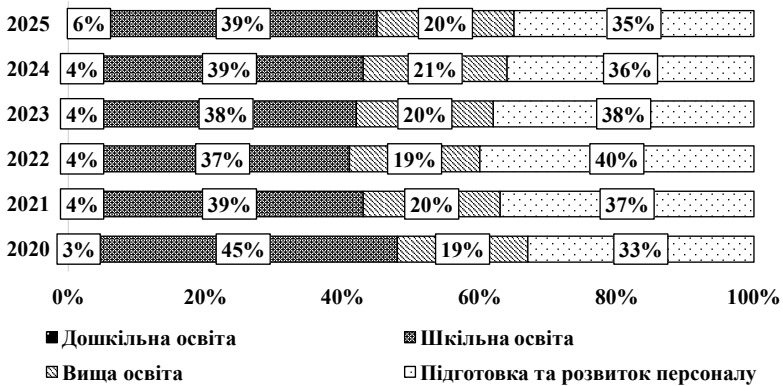


Рис. 6. Структурна динаміка сегментів світового EdTech-ринку

Джерело: складено за³⁴

На рис. 7 представлено регіональний розподіл EdTech-компаній за секторами у 2025 р., що демонструє як глобальну узгодженість, так і помітну регіональну спеціалізацію. Сегмент підготовки робочої сили

³⁴ 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

особливо помітний в таких регіонах, як Європа (45%), Австралія та Нова Зеландія (42%) та Північно-Балтійських країнах (42%), що свідчить про пряму узгодженість між інноваціями в освітніх технологіях та системами навчання, орієнтованими на працевлаштування. Натомість, Східна Азія та Південно-Східна Азія демонструють виражене домінування сегмента шкільної освіти, підкреслюючи стратегічний акцент на масштабуванні базових освітніх технологій для великого контингенту учнів. Аналогічно, країни Південної Африки (46%) та Південної Азії (41%) демонструють високу концентрацію в сегменті шкільної освіти, що відображає роль освітніх технологій у розширенні доступу до базової освіти в регіонах, що розвиваються.

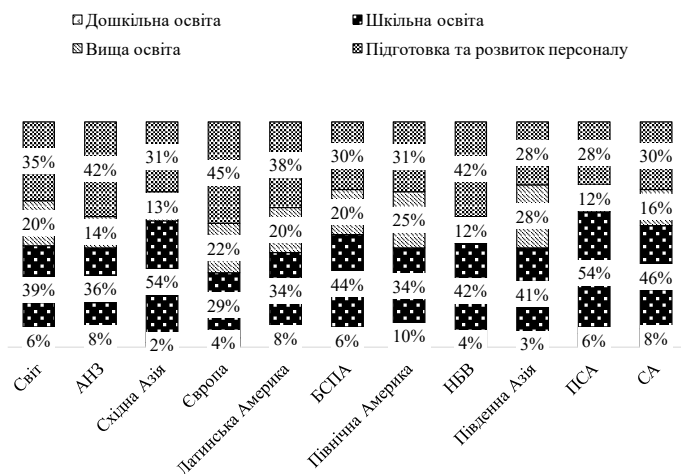


Рис. 7. Регіональний розподіл EdTech-компаній за сегментами

Джерело: складено за ³⁵

Примітка: АНЗ – Австралія та Нова Зеландія, БСПА – Близький Схід та Північна Африка, НБВ – Нордично-Балтійська вісімка, ПСА – Південно-Східна Азія, СА – Субсахарська Африка

Сегмент вищої освіти демонструє відносно збалансовану, але помірну частку в різних регіонах, з вищою концентрацією в Північній Америці (25%), Південній Азії (28%) та Європі (22%), що вказує на важливість цифровізації вищої освіти в цих регіонах. Сегмент дошкільної освіти

³⁵ 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

залишається найменшим інвестиційним пріоритетом у світі, хоча досягає порівняно вищих часток у Північній Америці (11%), Латинській Америці, Південній Африці та Австралії та Новій Зеландії (близько 8%).

На рис. 8 показано розподіл EdTech-компаній за періодом функціонування на ринку. Домінуюча та постійно зростаюча частка EdTech-компаній належить періоду 4-6 років, що характеризує процес виходу за межі ранніх стадій функціонування бізнесу та переходу у фазу масштабування, консолідації та ринкової валідації. Водночас, частка дуже молодих компаній (менше 3 років) значно знижується, зменшуючи присутність стартапів на ранніх стадіях у категорії найкращих освітніх технологій (ця тенденція відображає жорсткіші інвестиційні умови, посилення ринкової конкуренції та вищі бар'єри входу).

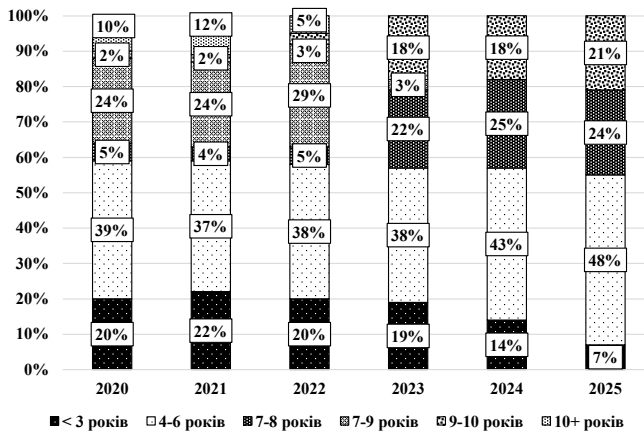


Рис. 8. Структура EdTech-компаній за періодом функціонування

Джерело: складено за ³⁶

Сегменти середньої та пізньої стадій (7-9 років та 9-10 років) демонструють помірне зростання з часом, особливо після 2022 р., відображаючи поступовий перехід до зрілої стадії розвитку компаній, які вийшли на ринок під час попередніх хвиль цифрової трансформації. Крім того, частка компаній з періодом роботи понад 10 років вказує на домінуючий вплив технологічних стартапів на світовому EdTech-ринку.

На рис. 9 представлено регіональний розподіл EdTech-компаній за бізнес-моделлю у 2025 р. у розрізі підходів «прямо до споживача» (D2C)

³⁶ 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

та «бізнес для бізнесу» (B2B). На глобальному рівні домінують моделі D2C, тобто для ринку характерна орієнтація на кінцевих користувачів, де студенти безпосередньо взаємодіють з продуктами та послугами цифрової освіти.

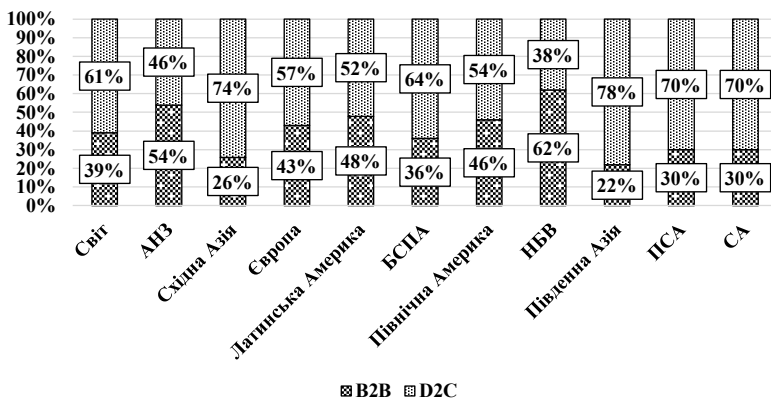


Рис. 9. Структура EdTech-компаній за бізнес-моделями

Джерело: складено за ³⁷

Примітка: АНЗ – Австралія та Нова Зеландія, БСПА – Близький Схід та Північна Африка, НБВ – Нордично-Балтійська вісімка, ПСА – Південно-Східна Азія, СА – Субсахарська Африка

Однак дані свідчать про суттєві регіональні відмінності, що формуються залежно від зрілості ринку, інституційного попиту та соціально-економічних умов. Такі регіони, як Південна Азія, Східна Азія, Південно-Східна Азія та Південна Африка, демонструють виражене домінування моделей D2C, де масштабовані платформні рішення, орієнтовані на окремих осіб, є більш життєздатними, ніж інституційно керовані підходи. Тобто, в цих регіонах EdTech-компанії часто компенсують прогалини у формальних системах освіти, безпосередньо задовольняючи потреби учнів.

І навпаки, більш збалансований або орієнтований на B2B розподіл спостерігається в Австралії та Новій Зеландії, Північно-Балтійському регіоні та Європі, оскільки в країнах цих регіонів існують добре налагоджені системи інституційної освіти та вищий рівень

³⁷ 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

ІКТ-інфраструктури, що сприяє попиту на корпоративні рішення, включаючи системи управління навчанням, корпоративні навчальні платформи та інституційні цифрові послуги. Північноамериканський регіон також демонструє відносно збалансовану структуру, що відображає співіснування сильних споживчих ринків та передового впровадження підприємствами. У таких регіонах, як Близький Схід, Північна Африка та Латинська Америка, розподіл свідчить про гібридну динаміку, де як зростання, орієнтоване на споживачів, так і інституційне впровадження сприяють розвитку ринку.

У табл. 4 виокремлено регіональні відмінності в зрілості EdTech-ринку, впровадженні технологій та потенціалі розвитку.

Таблиця 4

Регіональний аналіз світового EdTech-ринку

Регіон	Частка ринку	Ключові характеристики	Темпи зростання	Рівень технологічної зрілості
Північна Америка	~35%	зріла корпоративна та академічна інфраструктура, високий рівень впровадження ШІ/хмарних технологій	стабільне зростання, найбільші доходи	високий
Європа	~25%	суворі стандарти відповідності, змішане навчання та стабільний мобільний зв'язок	помірне зростання, зумовлене регуляторними факторами	високий-середній
Азійсько-Тихоокеанський регіон	~28%	мобільність, високі державні інвестиції в цифрове навчання	найшвидший сукупний річний темп зростання	середній-високий
Близький Схід та Африка	~12%	нова інфраструктура, урядові кампанії з цифрової освіти	високий потенціал, швидке зростання	низький-середній
Латинська Америка	~8–9%	розвиток інфраструктури, впровадження мобільних технологій	ринок з потенціалом для зростання	середній

Джерело: складено авторами

Ще одним важливим виміром розвитку EdTech-ринку є диверсифікація технологічних рішень. Екосистема освітніх технологій все частіше включає, як традиційні платформи електронної освіти, так і передові технології (ШІ, аналітику навчання та імерсивні інструменти), які підвищують ефективність навчання, забезпечуючи персоналізовані освітні траєкторії, інтерактивний контент та прийняття рішень на основі даних. Паралельно розширюється ринок інструментів для створення та керування цифровим контентом, що відображає зростаючу потребу у високоякісних, адаптованих освітніх матеріалах. У табл. 5 наведено основні товарні сегменти на світовому EdTech-ринку, що дозволяє визначити пріоритети цифрових інновацій на різних рівнях освіти.

Таблиця 5

Сегменти освітніх технологій за рівнями освіти

Рівень освіти	Сегменти
Дошкільна освіта (ДО)	додатки для розвитку та навчання дитини, фізичні освітні ресурси, системи управління дошкільною освітою, торговельні майданчики ДО, сервіси з догляду за дітьми тощо
Шкільна освіта	репетиторство та допомога з домашніми завданнями, рішення для підтримки навчання, освітні шкільні платформи, системи управління школою, вивчення мов за шкільною програмою, природничі науки та інженерія за шкільною програмою, навчання життєвим навичкам тощо
Вища освіта	рішення для фінансування освіти, системи для супроводу вступної кампанії, системи пошуку й консультування абітурієнтів, рішення з супроводу академічної діяльності, освітні середовища, інструменти для досліджень й експериментів, підготовка та підтримка наукової кар'єри, стажування, програми з доставлення наукового контенту тощо
Розвиток і навчання співробітників	платформи з навчання технологіям, освітні платформи та системи, імітаційне та імерсивне навчання, платформи коротких курсів, рішення з корпоративним фінансуванням, буткемпи та прискорені програми, професійне вивчення мов, платформи з розвитку кар'єри тощо

Джерело: складено за ³⁸

Розподіл свідчить про те, що сектор дошкільних освітніх технологій переважно зосереджений на цифрових додатках та базовому освітньому

³⁸ 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

контенті. Сектор шкільної освіти сконцентрований на технологічних рішеннях з надавання освітнього контенту, послугах підтримки учнів та системах цифрового управління, з особливим акцентом на персоналізовані рішення для навчання та репетиторства. В секторі вищої освіти домінують технологічні рішення зі спрощення доступу до освітнього контенту, сервісах з інформаційної підтримки здобувачів вищої освіти та кар'єрного розвитку, інструментах цифрового освітнього та дослідницького середовища. В секторі навчання та розвитку співробітників переважають технологічні рішення з навчання ІКТ-навичкам, моделі навчання на базі платформ та імерсивне навчання.

Споживчій поведінці на EdTech-ринку характерний високий рівень прийняття та активного використання цифрових освітніх інструментів, які широко сприймаються як такі, що покращують академічну успішність, залученість та співпрацю. Наприклад, 73% студентів повідомляють про покращення академічних результатів завдяки цифровим технологіям, тоді як 68% відзначають покращення співпраці³⁹. Водночас, уподобання в навчанні зміщуються в бік більш інтерактивних форматів, причому 67% студентів-зumerів віддають перевагу емпіричним підходам «навчання через практику», а 52% віддають перевагу гібридним моделям, що поєднують онлайн-навчання та очне навчання (що свідчить про те, що майбутнє освіти полягає в змішаних форматах, які поєднують переваги обох методів)⁴⁰. Синхронне онлайн-навчання забезпечує вищий рівень залученості порівняно з суто асинхронними підходами, особливо серед дорослих учнів, завдяки наявності взаємодії в реальному часі та структурованого навчального середовища. До основних факторів впливу на вибір студентами онлайн-навчання належать⁴¹:

- існуючі особисті зобов'язання (наприклад, робота та сімейні обов'язки);
- відсутність альтернативних способів навчання для обраної галузі знань;
- репутація освітньої установи, стимули чи партнерські відносини з роботодавцями;
- пандемія COVID-19 (частка цього фактору демонструє поступове зниження).

³⁹ EdTech Statistics. URL: <https://careertrainer.ai/en/reports/edtech-statistics/>

⁴⁰ EdTech Statistics. URL: <https://careertrainer.ai/en/reports/edtech-statistics/>

⁴¹ Most common reasons for choosing online versus on-campus learning options according to online students in the United States in 2023 and 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/731089/reasons-why-students-chose-online-versus-on-campus-degree-programs/>

З точки зору залучення користувачів та педагогічної ефективності, цифрові технології дедалі більше визнаються критично важливими факторами покращення результатів навчання. Наприклад, 72% викладачів повідомляють про покращення залучення учнів завдяки використанню цифрових інструментів, тоді як методи гейміфікації сприяють збільшенню рівня завершення курсів на 34% та покращенню запам'ятовування знань на 22%⁴². Швидке поширення відеонавчання, яке зараз становить 42% усього споживання цифрового контенту, додатково вказує на перехід до більш інтерактивних та мультимодальних форматів навчання. Додатково, впровадження таких платформ, як Google Classroom, яким користуються понад 150 млн учнів у всьому світі, підкреслює нормалізацію екосистем цифрової освіти, особливо в сегменті шкільної освіти, який сам по собі становить приблизно 34% світового ринку освітніх технологій та швидко розширюється в країнах, що розвиваються⁴³.

До основних переваг використання освітніх технологій відносять самостійне навчання (63% респондентів), заходи з розширення та збагачення знань (56%) та освітні інструменти, орієнтовані на доступність (53%), що підкреслює роль ІКТ у персоналізації та інклюзивності⁴⁴. Помірний вплив освітніх технологій пов'язаний з навчанням через Інтернет (42%), тоді як розширені пропозиції курсів (27%) та повністю онлайн-навчання (13%) мають обмежений вплив. Віртуальна та доповнена реальність (6%) наразі є найменш популярними, що свідчить про їх ранню стадію впровадження в освітній процес.

Крім того, загальний рівень залучення та задоволення користувачів цифровими освітніми платформами неухильно зростає, що відображає покращення якості платформ, зручності використання та надання контенту (рис. 10). Тому від освітніх закладів очікується постійна інтеграція передових технологій у свою педагогічну практику, щоб відповідати зростаючим очікуванням учнів.

Студенти покладаються на різноманітні цифрові канали під час пошуку освітніх програм, де основними джерелами інформації є «Google» (68%) та вебсайти освітніх закладів (52%). Платформи соціальних мереж, включаючи TikTok, Instagram та YouTube (47%), стали важливими інструментами пошуку інформації, особливо серед молодших

⁴² EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

⁴³ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

⁴⁴ Classroom of the Future Report 2023. URL: https://www.clever.com/wp-content/uploads/2023/08/CLIVER_CLASSROOM_OF_THE_FUTURE_REPORT_2023.pdf

учнів, тоді як платформи для відгуків (34%) відіграють вирішальну роль у формуванні сприйняття репутації освітнього закладу⁴⁵. До того ж, 22% студентів використовують чат-боти зі штучним інтелектом (ChatGPT та Gemini), що свідчить про його швидку інтеграцію в процеси прийняття рішень⁴⁶.

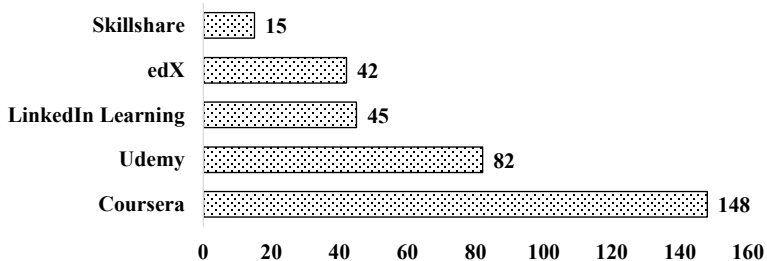


Рис. 10. Найбільші платформи за кількістю користувачів, млн

Джерело: складено за ⁴⁷

Простежуються й чіткі закономірності в структурі впровадження й використання різних інструментів на основі ШІ викладачами в освітніх закладах⁴⁸.

- найбільш поширеною категорією є освітні ігри на базі ШІ (51% респондентів), що свідчить про сильний акцент на інтерактивних та орієнтованих на залучення підходах до навчання;
- високий рівень впровадження адаптивних освітніх платформ (43%) та автоматизованих систем оцінювання та зворотного зв'язку (41%) відображає перехід до персоналізованих методів навчання та ефективності процесів оцінювання, оскільки ці технології дозволяють викладачам адаптувати контент до індивідуальних потреб учнів, одночасно зменшуючи адміністративне навантаження, пов'язане з оцінюванням;
- впровадження чат-ботів для підтримки студентів (35%) та інтелектуальних систем репетиторства (29%), тобто інтеграція ШІ для

⁴⁵ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

⁴⁶ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

⁴⁷ EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026>

⁴⁸ Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom. URL: <https://www.forbes.com/advisor/education/it-and-tech/artificial-intelligence-in-school/>

надання допомоги в режимі реального часу та індивідуальної академічної підтримки.

Примітно, що лише невелика частина респондентів повідомила про відсутність досвіду використання інструментів ШІ (6%), що свідчить про достатній рівень його застосування в освітньому середовищі⁴⁹. Загалом, впровадження ШІ в освіті в основному зосереджено навколо залучення, персоналізації та автоматизації, з чіткою тенденцією до впровадження інтелектуальних технологій як у процеси викладання, так і у освітні процеси.

До основних педагогічних та системних ризиків інтеграції ШІ в освітнє середовище, освітяни виділили наступні проблеми⁵⁰:

- академічна недоброчесність та питання валідності оцінювання результатів навчання (оскільки генеративні системи здатні створювати зв'язний та контекстуально релевантний текст, тим самим дозволяючи студентам обходити традиційні процеси навчання);

- зниження людської взаємодії в навчанні, що потенційно впливає на розвиток критичного мислення, комунікативних навичок та емоційного інтелекту – елементів, які важко відтворити за допомогою автоматизованих систем (що підкреслює умовну суперечність між технологічною ефективністю та соціальною природою освіти);

- конфіденційність та безпека даних, а також дотримання етичних стандартів та нормативно-правових баз;

- скорочення робочих місць для вчителів;

- нерівний доступ до ресурсів ШІ (що підкреслює ризик загострення наявної освітньої нерівності через відмінності у технологічній інфраструктурі та цифровій грамотності);

- автоматизація ручних завдань.

Незважаючи на всі позитивні тенденції, структурні проблеми залишаються. Ефективність масштабних форматів відкритого онлайн-навчання (англ. «Massive Open Online Courses») обмежена низьким рівнем завершення навчання (часто нижче 15-20%), і лише 31% учнів відчувають себе належним чином підготовленими до майбутнього на ринку праці⁵¹. Це свідчить про розрив між освітніми послугами та потребами ринку праці. Водночас зростає попит на персоналізовані навчальні рішення, про що свідчить 30% зростання кількості мікроакредитацій та 10-20%

⁴⁹ Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom. URL: <https://www.forbes.com/advisor/education/it-and-tech/artificial-intelligence-in-school/>

⁵⁰ Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom. URL: <https://www.forbes.com/advisor/education/it-and-tech/artificial-intelligence-in-school/>

⁵¹ EdTech Statistics. URL: <https://careertrainer.ai/en/reports/edtech-statistics/>

покращення рівня утримання студентів завдяки адаптивним освітнім платформам. Загалом, ці тенденції підкреслюють як трансформаційний потенціал освітніх технологій, так і необхідність більш ефективних, орієнтованих на результат моделей цифрової освіти.

Не менш критичним є питання цифрової компетентності серед освітян. Незважаючи на швидке впровадження передових технологій, значна частина освітян повідомляє про недостатню підготовленість до ефективного використання цих інструментів. Цей розрив між технологічними можливостями та готовністю користувачів є основною перешкодою для успішного впровадження цифрових стратегій, підкреслюючи важливість професійного розвитку, навчальних програм та механізмів інституційної підтримки для забезпечення повного використання освітянами цифрових інновацій.

Інвестиційна активність також відіграє вирішальну роль у формуванні динаміки ринку освітніх технологій. На рис. 11 показано динаміку глобального фінансування освітніх технологій (EdTech), що підкреслює як довгострокові тенденції зростання, так і нещодавні структурні коригування інвестиційних потоків у різних регіонах.

Протягом періоду 2010–2021 рр. ринок пережив фазу швидкого зростання, при цьому загальний обсяг фінансування зріс з незначного рівня до піку, що перевищив 20 млрд USD у 2021 р. Цей сплеск був зумовлений прискороною цифровізацією під час пандемії COVID-19, яка посилила попит на рішення для онлайн-навчання та каталізувала масштабний приплив венчурного капіталу. У регіональному масштабі КНР та США домінували за сукупними обсягами фінансування, за ними йшли ринки, що розвиваються, та розвинені регіони, що відображає географічно диверсифікований інвестиційний ландшафт.

Проте, в період після 2021 р. для ринку характерне виражене скорочення, при цьому глобальне фінансування різко скоротилося у 2022–2023 рр., перш ніж стабілізуватися на порівняно нижчих рівнях у 2024–2025 рр. Незважаючи на це зниження загальних обсягів фінансування, якісна структура інвестиційної активності залишалася стійкою. Зокрема, активність у сфері злиттів та поглинань (M&A), яка склала приблизно 360 угод, свідчить про стійку стратегічну консолідацію в секторі, особливо в сферах, пов'язаних з ІКТ-інфраструктурою, системами навчання та рішеннями для підвищення кваліфікації, що відповідають потребам роботи⁵².

⁵² 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000>

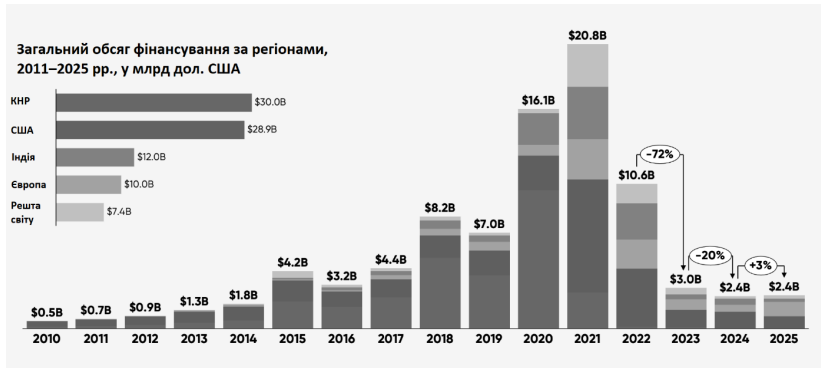


Рис. 11. Динаміка світових обсягів венчурного фінансування у сфері освіти (млрд дол. США)

Джерело: перекладено з ⁵³

ВИСНОВКИ

Цифрова трансформація освіти є складним та багатовимірним процесом, що зумовлений взаємодією технологічних, економічних, соціальних та інституційних факторів. Крім того, цифровізація освіти передбачає не лише впровадження ІКТ, але й глибокі зміни в освітніх парадигмах, механізмах управління та практиках навчання.

Світовому ринку освітніх технологій характерна відносно стабільна секторальна структура, водночас регіональні відмінності формуються демографічними факторами, рівнем економічного розвитку та політичними пріоритетами. Найбільш динамічний розвиток спостерігається у сферах ШІ, адаптивного навчання, хмарних рішень і корпоративного навчання, що свідчить про зміщення акцентів від традиційної освіти до безперервного розвитку компетенцій. Розвинені регіони, як правило, наголошують на підвищенні кваліфікації робочої сили та навчанні протягом усього життя, тоді як регіони, що розвиваються, надають пріоритет шкільній освіті для вирішення питань доступності та масштабованості. Зростаюча концентрація EdTech-компаній середньої стадії розвитку свідчить про те, що світовий ринок освітніх технологій вступає у фазу стабілізації, де масштабованість, операційна ефективність та стає зростання стають важливішими, ніж швидкий вхід та експерименти.

⁵³ 2026 Global Education Outlook. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2026-global-education-outlook>

Поведінка користувачів на ринку освітніх технологій характеризується високим рівнем прийняття цифрових технологій, переходом до активного та персоналізованого навчання, розширенням навчання протягом усього життя та зростаючою важливістю адаптивних освітніх моделей. Водночас, проблеми, пов'язані із залученням учнів, завершенням курсів та узгодженням з потребами ринку праці, висвітлюють ключові напрямки для подальшого розвитку

Успішна інтеграція освітніх технологій залежатиме не лише від технологічного прогресу, а й від розробки надійної політики, етичних рекомендацій та педагогічних рамок, що вирішують галузеві виклики й ризики.

АНОТАЦІЯ

Дослідження систематизує теоретичні основи цифрової трансформації освіти та досліджує структурну динаміку світового ринку освітніх технологій. Проведено критичний огляд наукової літератури та міжнародних політичних рамок (зокрема, матеріалів ЮНЕСКО), щоб з'ясувати сутність цифрової освіти та визначити основні теоретичні та інституційні підходи до її інтерпретації. Особливу увагу приділено розвитку цифрової освіти як багатовимірною явища, що охоплює технологічні, педагогічні та соціально-економічні виміри. Узагальнено та виокремлено ключові групи факторів впливу на цифровізацію освіти, враховуючи технологічні, інституційні, економічні та ін. детермінанти. Запропоновано функціональну типізацію цифрових освітніх платформ. Наведено порівняльний аналіз сегментів світового ринку освітніх технологій, враховуючи дошкільну освіту, шкільну освіту, вищу освіту та корпоративне навчання. У дослідженні також розглянуто інвестиційні тенденції, активність венчурного капіталу та розподіл EdTech-компаній за секторами, періодом функціонування на ринку та бізнес-моделями. До перспективних напрямів майбутніх досліджень можна віднести питання кібербезпеки освітніх цифрових середовищ і платформ, оцінювання впливу ШІ на результати навчання, аналіз ефективності цифровізації освітнього процесу та вивчення регіональних диспропорцій в освітніх моделях та цифровій поведінці учасників освітнього процесу.

Література

1. Ніколаєску І., Шинкарьова В. Цифровізація освіти як сучасна вимога інформаційного суспільства. Перспективи та інновації науки. 2022. № 2 (7). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-2\(7\)-914-923](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-2(7)-914-923) (дата звернення: 30.03.2026).

2. Alenezi M., Wardat S., Akour M. The Need of Integrating Digital Education in Higher Education: Challenges and Opportunities. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 6. P. 4782. URL: <https://doi.org/10.3390/su15064782> (дата звернення: 30.03.2026).
3. Gambo Danmuchikwali B., Muhammad Suleiman M. Digital education: opportunities, threats, and challenges. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*. 2020. Vol. 11, no. 2. P. 78–83. URL: <https://doi.org/10.21009/10.21009/jep.0126> (дата звернення: 30.03.2026).
4. Yıldız T. The Future of Digital Education: Artificial Intelligence, the Metaverse, and the Transformation of Education. *İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi / İstanbul University Journal of Sociology*. 2025. Vol. 44, no. 2. P. 921–940. URL: <https://doi.org/10.26650/sj.2024.44.2.0664> (дата звернення: 30.03.2026).
5. Zawacki-Richter O., Bozkurt A. Research Trends in Open, Distance, and Digital Education. *Handbook of Open, Distance and Digital Education*. Singapore, 2022. P. 1–23. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0351-9_12-1 (дата звернення: 30.03.2026).
6. Vetrivelan R. Empowering Digital Education. *Empowering Value Co-Creation in the Digital Era*. 2025. P. 199–228. URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1742-7.ch009> (дата звернення: 30.03.2026).
7. Dillenbourg P. The Evolution of Research on Digital Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016. Vol. 26, no. 2. P. 544–560. URL: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z> (дата звернення: 30.03.2026).
8. Inclusive Digital Education on Open Platforms: A Case Study of the Complexity of the Future of Education / M.-S. Ramirez-Montoya et al. *Computers in the Schools*. 2024. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1080/07380569.2024.2322164> (дата звернення: 30.03.2026).
9. Charter for Public Digital Learning Platforms. URL: https://www.unicef.org/digitaleducation/media/2261/file/UNESCO-UNICEF-ITU_Charter_Public_Digital_Learning_Platforms.pdf.pdf (дата звернення: 30.03.2026).
10. Decuypere M., Grimaldi E., Landri P. Introduction: Critical studies of digital education platforms. *Critical Studies in Education*. 2021. Vol. 62, no. 1. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.1080/17508487.2020.1866050> (дата звернення: 30.03.2026).
11. Строцький Р.Є. Цифровізація вищої освіти у закладах вищої освіти із специфічними умовами навчання: адміністративно-правові засади. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*. 2025. Т. 4, № 88. С. 279–285. URL: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.88.4.41> (дата звернення: 30.03.2026).

12. Williamson B. Digital education governance: An introduction. *European Educational Research Journal*. 2015. Vol. 15, no. 1. P. 3–13. URL: <https://doi.org/10.1177/1474904115616630> (дата звернення: 30.03.2026).
13. Six pillars for the digital transformation of education: a common framework. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391299> (дата звернення: 30.03.2026).
14. Guidelines for ICT in education policies and masterplans. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380926> (дата звернення: 30.03.2026).
15. The influences of the digital revolution on the educational system of the EU countries / C. G. Cosmulese et al. *Marketing and Management of Innovations*. 2019. No. 3. URL: <https://doi.org/10.21272/mmi.2019.3-18> (дата звернення: 30.03.2026).
16. Bingimlas K. A. Barriers to the Successful Integration of ICT in Teaching and Learning Environments: A Review of the Literature. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2009. Vol. 5, no. 3. URL: <https://doi.org/10.12973/ejmste/75275> (дата звернення: 30.03.2026).
17. Factors Affecting the Adoption of Digital Information Technologies in Higher Education: An Empirical Study / M. A. Almaiah et al. *Electronics*. 2022. Vol. 11, no. 21. P. 3572. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics11213572> (дата звернення: 30.03.2026).
18. Determinants Influencing the Continuous Intention to Use Digital Technologies in Higher Education / M. A. Almaiah et al. *Electronics*. 2022. Vol. 11, no. 18. P. 2827. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics11182827> (дата звернення: 30.03.2026).
19. What Factors Impact Online Education? A Factor Analysis Approach / V. Kukreja et al. *Journal of Engineering Education Transformations*. 2021. Vol. 34. P. 365. URL: <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157180> (дата звернення: 30.03.2026).
20. Chitkushev L., Vodenska I., Zlateva T. Digital Learning Impact Factors: Student Satisfaction and Performance in Online Courses. *International Journal of Information and Education Technology*. 2014. Vol. 4, no. 4. P. 356–359. URL: <https://doi.org/10.7763/ijiet.2014.v4.429> (дата звернення: 30.03.2026).
21. Digital education strategies around the world: practices and policies / F. Gabriel et al. *Irish Educational Studies*. 2022. Vol. 41, no. 1. P. 85–106. URL: <https://doi.org/10.1080/03323315.2021.2022513> (дата звернення: 30.03.2026).
22. EDUCATION & EDTECH STATISTICS 2026. URL: <https://searchlab.nl/en/statistics/education-edtech-statistics-2026> (дата звернення: 30.03.2026).
23. EdTech Statistics. URL: <https://careertrainer.ai/en/reports/edtech-statistics/> (дата звернення: 30.03.2026).

24. Education Technology (EdTech) Market Size & Share, by Deployment Mode (Cloud-based, On-premise); Learning Type; Sector; Type; End user – Global Supply & Demand Analysis, Growth Forecasts, Statistical Report 2026-2035. URL: <https://www.researchnester.com/reports/education-technology-market/3403> (дата звернення: 30.03.2026).

25. 2025 Global EdTech 1000. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2025-global-edtech-1000> (дата звернення: 30.03.2026).

26. Most common reasons for choosing online versus on-campus learning options according to online students in the United States in 2023 and 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/731089/reasons-why-students-chose-online-versus-on-campus-degree-programs/> (дата звернення: 30.03.2026).

27. Classroom of the Future Report 2023. URL: https://www.clever.com/wp-content/uploads/2023/08/CLEVER_CLASSROOM_OF_THE_FUTURE_REPORT_2023.pdf (дата звернення: 30.03.2026).

28. Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom. URL: <https://www.forbes.com/advisor/education/it-and-tech/artificial-intelligence-in-school/> (дата звернення: 30.03.2026).

29. 2026 Global Education Outlook. URL: <https://www.holoniq.com/notes/2026-global-education-outlook> (дата звернення: 30.03.2026).

Information about the authors:


Shestak Yaroslav Ivanovych,
Doctor of Philosophy in Computer Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Software Engineering
and Cybersecurity
State University of Trade and Economics
19, Kyoto street, Kyiv, Ukraine

Zavorodnya Elizaveta Oleksandrivna,
Doctor of Philosophy in International Economic Relations,
Head of the Library Department
State University of Trade and Economics
19, Kyoto street, Kyiv, Ukraine

Savon Oleksii Yevheniiovych,
Postgraduate Student at the Department of Software Engineering and
Cybersecurity
State University of Trade and Economics
19, Kyoto street, Kyiv, Ukraine

02

SECTION



MODERNIZING THE PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE INFORMATICS TEACHERS

**TEAM INTERACTION AS A COMPONENT
OF MODERNIZING THE PROFESSIONAL TRAINING
OF THE PRE-SERVICE COMPUTER SCIENCE TEACHER**

Yurchenko A. O., Semenikhina O. V.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-696-6-3>

INTRODUCTION

The digital transformation of education in recent years has substantially changed how the content and organisation of teacher professional training are understood. This is not only about the wider use of platforms, services, cloud environments, electronic resources, or communication tools. The deeper changes concern the very logic of pedagogical activity, the ways in which professional interaction is organised, the structure of responsibility, the forms of collective problem-solving, and the teacher's role in a digitally rich educational environment. In this situation, the professional training of pre-service computer science teachers can no longer be limited to the development of instrumental skills related to the use of particular programs, services, or programming languages. It requires a more integrated approach that takes into account the ability to act in networked communication, to create digital products collectively, to design educational solutions jointly, to coordinate team actions, and to facilitate interaction in the digital space.

For the training of pre-service computer science teachers, this issue is especially pronounced. Computer science education has historically been linked to technology, algorithmisation, computational thinking, modelling, digital content, and work with information systems. However, the contemporary school, as well as the system of teacher education, places much broader demands on computer science teachers. They are expected not only to teach the subject, but also to organise the digital educational environment, participate in professional collaboration, coordinate interdisciplinary initiatives, facilitate team-based activity among learners, and often lead digital change within an educational institution. This means that the professional training of computer science teachers should include the development not only of subject-specific, methodological, and technological skills, but also of the capacity for team interaction as a stable professional quality.

1. Analysis of Current Research

The relevance of studying team interaction in the professional training of pre-service computer science teachers is strengthened by the fact that modern models of teacher education are moving further away from a narrow view of digital training as a set of technical skills. In recent studies, teachers' digital competence is understood as a multidimensional construct. It includes not only the use of digital tools, but also pedagogical design, communication, collaboration, digital content creation, professional development, the ethical use of technologies, safety, reflection, and the ability to solve complex educational tasks^{1,2}. This approach is particularly important for the training of pre-service computer science teachers, as it shifts the focus from the possession of digital tools to the ability to organise meaningful pedagogical interaction through them. In this sense, team interaction is not a secondary addition to digital literacy, but one of its professionally significant manifestations.

A separate group of studies focuses specifically on the training of computer science teachers. In their international review of models of computer science teacher education, Yadav et al.³ show that the systems used to train such specialists differ substantially across countries in their structure, duration, level of institutional support, and the relationship between subject-specific and pedagogical components. At the same time, the authors emphasise that effective computer science teacher education should include not only knowledge of computer science content, but also the ability to create educational situations focused on learners, equity, inclusion, the pedagogically appropriate use of technologies, and an understanding of the social consequences of digital solutions. This point is directly related to the problem of team interaction, since the modern computer science teacher should not only transmit knowledge about algorithms, data, programming, or digital systems, but also organise joint activity in which learners create, discuss, test, and improve digital products.

The need to rethink teacher professional training became especially clear after rapid educational shifts linked to the mass transition to distance, blended, and flexible learning. These processes showed that access to platforms or communication channels does not, by itself, ensure the quality of the educational

¹ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

² Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

³ Yadav A., Connolly C., Berges M., Chytas C., Franklin C., Hijón-Neira R., Macann V., Margulieux L. E., Ottenbreit-Leftwich A. T., Warner J. R. A review of international models of computer science teacher education. *ITCSE-WGR*, 2022. <https://doi.org/10.1145/3571785.3574123>

process. Difficulties often arise not so much because of a lack of technical resources, but because of insufficiently developed methodological, organisational and communication skills needed for work in a digitally mediated environment. Hodges et al.⁴ note that teacher education systems were often not ready to develop stable skills in digital teaching, flexible learning organisation and professional interaction in new modes of educational activity. Thus, digital transformation has revealed not only technical, but also conceptual gaps in teacher training.

In this regard, studies based on the model of technological, pedagogical, and content knowledge are particularly informative. Meletiou-Mavrotheris and Paparistodemou⁵, summarising 18 years of experience in TPACK-guided professional development for STEM/STEAM teachers, show a gradual move from short seminars on the use of particular software to systemic, school-based and collaborative programmes of professional learning. For this study, it is important that the authors directly connect the sustainability of professional development with teacher autonomy, collaboration, reflection, a socio-constructivist understanding of learning, and practical involvement in developing educational solutions. This finding strengthens the argument that pre-service computer science teacher training cannot be reduced to mastering tools. It should develop the ability to combine technology, pedagogical purpose, subject content, and the team organisation of activity.

A similar line of argument is developed by Norhagen, Krumsvik and Røkenes⁶, who, in their review of studies on professional digital competence in Norwegian teacher education, stress its dynamic and multidimensional nature. The authors note that teacher education should not only assess future teachers' self-perceptions of their digital skills, but also create conditions for their practical application in professionally meaningful situations. This is important for the present issue because team interaction is also not formed through a declarative introduction to its importance. It requires specially organised tasks, digital environments, ways of recording participants' contributions, and reflection on the process of joint work.

Recent research confirms that a teacher's readiness for effective activity in a digital environment depends on a combination of factors: digital literacy,

⁴ Hodges C. D., Barbour M., Pratt K. The persistent deficit: Historical gaps in the preparation of K-12 educators for digital teaching. *Journal of Online Learning Research*, 2026. <https://doi.org/10.70725/361467zxvzis>

⁵ Meletiou-Mavrotheris M., Paparistodemou E. Sustaining teacher professional learning in STEM: Lessons learned from an 18-year-long journey into TPACK-guided professional development. *Education Sciences*, 2024. Vol. 14, № 4. Article 402. <https://doi.org/10.3390/educsci14040402>

⁶ Norhagen S. L., Krumsvik R., Røkenes F. Developing professional digital competence in Norwegian teacher education: A scoping review. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1363529. <https://doi.org/10.3389/feeduc.2024.1363529>

methodological training, adaptability, innovativeness, communication skills, and the ability to work collaboratively. In this regard, Soroko and Shymon's⁷ findings are indicative. When analysing teachers' readiness to work in a STEAM-oriented environment, they stress the close connection between digital training, communication, innovativeness, and methodological capacity. Zhou et al.⁸, in a meta-analysis of experimental studies on the professional development of STEM teachers, also demonstrated the positive effect of professional learning on teachers' self-efficacy. This result is important because developed self-efficacy supports a teacher's readiness to take part in more complex forms of activity, including team-based design, digital collaboration, and the implementation of new pedagogical solutions.

At the same time, researchers note that digital competence does not always automatically lead to the pedagogically appropriate use of technology. Ghazali et al.⁹, analysing teachers' self-efficacy in using ICT for education for sustainability, showed that ICT knowledge and knowledge of sustainability issues are important predictors of self-efficacy, but that a gap may remain between possession of digital tools and their pedagogical use. For the training of pre-service computer science teachers, this has direct relevance: a learner may have sufficient instrumental skills, but still be unprepared to organise team work, support group dynamics, distribute roles, or facilitate the collective creation of an educational product.

Studies that connect teachers' digital competence with learners' involvement in active, responsible, and collaborative activity are especially important for the issue examined here. Lin et al.¹⁰ demonstrated that digital teaching competence acts as the main mediator between teachers' ICT skills, data literacy, and their ability to support the development of learners' digital capacity, ethical technology use, communication, and collaboration. This means that pre-service computer science teachers should be prepared not only to use digital tools, but also to create conditions in which technologies support interaction, responsibility, shared thinking, and collective problem-solving.

⁷ Soroko N., Shymon O. Teachers' readiness to use digital tools in a STEAM-oriented educational environment. *Educational Analytics of Ukraine*, 2025. № 1. P. 28–42. <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2025-1-28-42>

⁸ Zhou X.-J., Shu L., Xu Z., Padrón Y. N. The effect of professional development on in-service STEM teachers' self-efficacy: A meta-analysis of experimental studies. *International Journal of STEM Education*, 2023. Vol. 10. Article 37. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00422-x>

⁹ Ghazali M., Makrakis V., Kostoulas-Makrakis N., Yakob N., Rashid R. A. A., Othman W., Fitriyanto N. Predicting teacher's information and communication technology-enabled education for sustainability self-efficacy. *Sustainability*, 2024. Vol. 16, № 13. Article 5323. <https://doi.org/10.3390/su16135323>

¹⁰ Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

Team interaction is a special focus in this system. The modern educational process is becoming less and less effective when organised according to the logic of isolated individual teacher work. The development of digital courses, the creation of integrated tasks, the introduction of project-based learning, the organisation of blended or distance formats, the use of analytical tools, the coordination of interdisciplinary initiatives, and the support of learners' joint activity all require interaction with others. Khasawneh et al.¹¹, studying teacher collaboration in professional learning communities and collaborative teaching practices, stress that effective collaboration requires time, supportive leadership, resources, and organisational recognition. For computer science teachers, this is especially important, as their professional field is closely linked with joint design, team development of digital products, the coordination of technological decisions, and participation in networked professional communities.

At the same time, in teacher education, team interaction has long remained mainly an implicit requirement. It has often been assumed as a desired outcome of group forms of work, but has less often been considered as a separate object of purposeful development, with its own structure, criteria, indicators, and methodological means. As a result, educational practice often equates team interaction with any form of group activity. This approach is insufficient. Team interaction involves not only the joint presence of several participants and not only the distribution of separate functions, but also a shared goal, coordinated actions, role distribution, mutual responsibility, the ability to coordinate, and readiness to produce a collective result. For this reason, its development requires a specially organised pedagogical process.

This idea is supported by studies of collaborative learning in computer science, programming, and computational thinking. Andersen, Mørch, and Litherland¹², studying collaborative learning with block-based programming, showed that in an online environment, technological artifacts and group discussions develop in parallel and influence each other. This is important for the present study because the team interaction of pre-service computer science teachers is formed not only through communication but also through the joint creation of a digital product, work with visual objects, decision coordination, and the gradual refinement of the logic of a digital artifact. Thus, in computer

¹¹ Khasawneh Y. J. A., Alsarayreh R., Al Ajlouni A. A., Eyadat H., Ayasrah M., Khasawneh M. An examination of teacher collaboration in professional learning communities and collaborative teaching practices. *Journal of Education and e-Learning Research*, 2023. Vol. 10, № 3. P. 446–452. <https://doi.org/10.20448/jeelr.v10i3.4841>

¹² Andersen R., Mørch A., Litherland K. Collaborative learning with block-based programming: Investigating human-centered artificial intelligence in education. *Behaviour & Information Technology*, 2022. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2083981>

science teacher education, teamwork is not abstract, but mediated by subject-specific activity.

In a digital educational environment, this issue becomes more complex. On the one hand, digital technologies substantially expand opportunities for joint activity. They allow participants to work synchronously and asynchronously, edit documents collectively, visualise ideas, record intermediate results, track revision history, see participants' contributions, and support distributed interaction. On the other hand, the digital environment itself creates new requirements for communication culture, clarity of wording, coordination of actions, the ability to avoid communication gaps, and the ability to maintain team dynamics without constant face-to-face presence. Therefore, the digital environment does not simplify team interaction. It changes its form, makes some aspects of collaboration visible, and at the same time sharpens others.

Current research increasingly stresses that digital tools are pedagogically effective when they are included in the logic of meaningful joint activity. Abildinova et al.¹³ emphasise the importance of active methods and teachers' practical entry into a digitally rich environment. Amemasor et al.¹⁴, in a systematic review, show that teacher professional development in digital integration is most effective when it combines practice, collaborative formats, methodological support, mentoring, and institutional support. Theodorio¹⁵ also stresses that successful technology integration into pedagogical activity requires not episodic assistance, but continuous and proactive support. These findings are particularly important for the training of pre-service computer science teachers, as they point to the need to move the focus from one-off instruction or technical training to the systematic organisation of experience in joint digital activity.

A significant research area concerns the development of project-based, problem-based, inquiry-based, and case-based learning. Zhang et al.¹⁶, analysing online-offline case discussions in postgraduate computer science courses, showed that learners construct knowledge more actively when they can work with real engineering cases, discuss different approaches, choose a learning pathway, and

¹³ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

¹⁴ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

¹⁵ Theodorio A. O. Examining the support required by educators for successful technology integration in teacher professional development program. *Cogent Education*, 2024. Vol. 11, № 1. Article 2298607. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2298607>

¹⁶ Zhang X., Zhang B., Zhang F. Student-centered case-based teaching and online-offline case discussion in postgraduate courses of computer science. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2023. Vol. 20. Article 6. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00374-2>

develop higher-order thinking. Halawa, Lin, and Hsu¹⁷, in a systematic review of instructional design in STEM education, demonstrated the widespread use of design-based, inquiry-based, project-based, and problem-based learning to achieve STEM literacy and develop twenty-first-century competencies. Lavado-Anguera, Velasco-Quintana, and Terrón-López¹⁸ also show that project-based learning in engineering education supports the development of real professional skills, especially when it is connected with technologies, interdisciplinarity, simulation, and professional environments. These studies confirm the value of using team-based project tasks in the training of pre-service computer science teachers.

It is also necessary to consider studies linking project-based learning to the development of computational thinking. Ye et al.¹⁹, analysing the integration of computational thinking into K-12 mathematics education, showed that productive learning takes place when learners not only follow instructions, but also create computational artifacts, interpret their results, and combine mathematical and computational reasoning. Fitrah et al.²⁰ demonstrated that the combination of project-based learning and flipped classroom has a positive effect on the development of decomposition, pattern recognition, and abstraction. For the training of computer science teachers, this means that team interaction should be developed through tasks in which learners jointly analyse a problem, construct a solution, visualise intermediate results, and create a digital product.

This is also connected with the broader discourse of student-centred learning. Bhardwaj et al.²¹ view the student-centred approach as one that supports active participation, peer collaboration, independence, critical thinking, and learners' professional growth. Treve²², comparing teacher-centred

¹⁷ Halawa S., Lin T.-C., Hsu Y.-S. Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 2024. Vol. 11. Art. 43. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5>

¹⁸ Lavado-Anguera S., Velasco-Quintana P.-J., Terrón-López M. Project-based learning (PBL) as an experiential pedagogical methodology in engineering education: A review of the literature. *Education Sciences*. 2024. Vol. 14, № 6. Article 617. <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>

¹⁹ Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: A systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. *International Journal of STEM Education*, 2023. Vol. 10. Article 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00396-w>

²⁰ Fitrah M., Sofroniou A., Setiawan C., Widiastuti, Yarmanetti, N., Sari Jaya M. P., Panuntun J. G., Arfaton A., Beteno S., Susianti I. The impact of integrated project-based learning and flipped classroom on students' computational thinking skills: Embedded mixed methods. *Education Sciences*, 2025. Vol. 15, № 4. Article 448. <https://doi.org/10.3390/educsci15040448>

²¹ Bhardwaj V., Zhang S., Tan Y., Pandey V. Redefining learning: Student-centered strategies for academic and personal growth. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1518602. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1518602>

²² Treve M. Comparative analysis of teacher-centered and student-centered learning in the context of higher education: A co-word analysis. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*, 2024. Vol. 4, № 1. Article 117. <https://doi.org/10.47909/ijsmc.117>

and student-centred learning, shows that the former is more closely linked with teachers' pedagogical actions and standardised assessment, while the latter focuses on learners' progress, formative feedback, access to support, and the educational environment. This is important for the present topic, since team interaction among pre-service computer science teachers cannot be formed in a model in which the learner is only a performer of instructions. It requires space for decision-making, shared responsibility, mutual learning, and reflection.

Peer learning and mentoring are also directly connected with team interaction. Tanveer et al.²³, analysing peer teaching in medical education, showed that learners who take on the role of teaching others develop not only subject knowledge, but also pedagogical, personal, and general skills. Krishna et al.²⁴, in a study of peer mentoring, stress the importance of communities of practice, structured mentoring, and mutual support for professional identity. Although these studies do not directly concern computer science teacher education, they are methodologically useful because they show that when a learner takes on the role of a mentor, coordinator, or participant in mutual support, they engage more deeply in professional activity. In the training of pre-service computer science teachers, this can be implemented through peer teaching, work in small teams, mutual consultation on digital tools, and joint reflection on the results.

The Ukrainian research discourse also provides strong grounds for considering this issue within the broader framework of modernising teacher education. Studies on the development of teachers' information and digital culture, the organisation of the digital educational environment, and the use of computer visualisation tools show that the quality of digitalisation is determined not only by the set of tools used, but primarily by the pedagogical logic of their implementation^{25,26}. For the pre-service computer science teacher, this means that the digital environment should be understood not as a set of technical

²³ Tanveer M., Mildestvedt T., Skjærseth I. G., Arntzen H. H., Kenne E., Bonnevier A., Stenfors T., Kvernenes M. Peer teaching in undergraduate medical education: What are the learning outputs for the student-teachers? A systematic review. *Advances in Medical Education and Practice*, 2023. Vol. 14. P. 723–739. <https://doi.org/10.2147/AMEPS401766>

²⁴ Krishna L., Pisupati A., Teo K. J. H., Teo M. Y. K., Quek C., Chua K. Z. Y., Venkaramana V., Raveendran V., Singh H., Wong S. L. C., Ng V. W. W., Ting O., Loh E. K. Y., Yeoh T. T., Owyong J. L. J., Ong E., Phua G., Hill R., Mason S., Ong S. Y. K. Professional identity formation amongst peer-mentors in a research-based mentoring programme. *BMC Medical Education*, 2023. Vol. 23. Article 764. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04718-y>

²⁵ Богославський С., Семеніхіна О., Юрченко А. Порівняльний аналіз українських та європейських практик організації цифрового освітнього середовища. *Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського*, 2025. Випуск 2 (151). С. 38–42. <https://doi.org/10.24195/2617-6688-2025-2-6>

²⁶ Юрченко А., Момот Р., Семеніхіна О. Про розвиток інформаційно-цифрової культури вчителів з використанням комп'ютерної візуалізації. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2024. Том 12, № 6. С. 93–99. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol12i6-014>

resources, but as a space of professional action, where content, interaction, coordination, visualisation and responsibility for a shared result are connected.

The link between team interaction and the development of soft skills is also important, since modern pedagogical activity can no longer be considered complete without them. Communication, collaboration, the ability to work in a group, responsibility for a shared result, emotional sensitivity to other participants, readiness to accept revisions, and the ability to agree on decisions do not exist separately from professional training. On the contrary, in a digitally rich educational environment, they become a condition for the effective use of technologies themselves. The study by Yurchenko et al.²⁷ shows that specially organised team activity can have a positive effect on the development of soft skills, while the work of Semenog et al.²⁸ emphasises the developmental potential of communicative tasks for the formation of more complex personal and professional qualities. Similar ideas are found in Rusmin et al.²⁹, where critical thinking and problem-solving are considered skills that require purposeful inclusion in the educational process, proper resources, teacher preparation, and appropriate assessment methods.

The problem of team interaction is also important because it is directly linked to the transformation of the teacher's professional role. In the traditional model, the teacher is often seen as the main holder of content, the controller of task completion, and the organiser of individual learning activity. In the digital educational environment, this role becomes much more complex. The teacher has to coordinate different channels of interaction, create and adapt digital materials, work in a mode of joint editing, support asynchronous communication, analyse digital traces of activity, facilitate group processes, and often act within a system of distributed responsibility. Shal et al.³⁰, studying teacher leadership in virtual communities of practice, showed that online communities can support teacher agency, distributed leadership, project initiation, knowledge exchange, and the organisation of professional development. This is important for the pre-service computer science teacher, who in school often becomes not only

²⁷ Юрченко А., Момот Р., Острога М., Семеніхіна О. Візуалізація знань засобами вебтехнологій у формуванні критичного мислення майбутніх учителів інформатики. *Фізико-математична оцінка*, 2025. Том 40, №5. С. 80-88. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-11>

²⁸ Semenog O., Hrona N., Khomych T., Stasiuk T., Yurchenko A., Semenikhina O. Communicative tasks as a means of developing the emotional intelligence of students. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 2024. Vol. 16, No. 4. P. 46–57. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2024.04.04>

²⁹ Rusmin L., Misrahayu Y., Pongpalilu F., Radiansyah R., Dwiyanto D. Critical thinking and problem-solving skills in the 21st century. *Journal of Social Science*, 2024. Vol. 5, № 3. <https://doi.org/10.59613/svhy3576>

³⁰ Shal T., Ghamrawi N., Abu-Tineh A. M., Al-Shaboul Y. M., Sellami A. Teacher leadership and virtual communities: Unpacking teacher agency and distributed leadership. *Education and Information Technologies*, 2024. Vol. 29. P. 6037–6064. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12446-5>

a performer of subject-specific tasks, but also a participant in, or initiator of, digital change.

Studies of emerging areas of computer science education, especially artificial intelligence, also support this logic. Jetzinger, Baumer, and Michaeli³¹ describe a scalable professional development programme for computer science teachers preparing to teach AI in compulsory K-12 education. They emphasise the combination of subject knowledge, pedagogical knowledge, blended learning, and support for teachers with different levels of prior training. Yim and Su³², in a scoping review of AI learning tools in K-12 education, show that AI literacy is most often supported through project-based, constructivist, human-computer collaborative, game-based, and practice-oriented approaches. For the training of pre-service computer science teachers, this means that new topics, including artificial intelligence, cannot be effectively integrated into the educational process without teamwork, discussion, joint model creation, reflection on ethical aspects, and pedagogical facilitation.

More recent studies also show an interest in the interaction between humans, artificial intelligence, and learning analytics. Cohn et al.³³ propose a multimodal approach to supporting collaboration between the teacher, the researcher and AI in STEM+C environments. They show that artificial intelligence can be useful for identifying difficulties in learners' joint work, but that these difficulties require teacher interpretation. Paolucci et al.³⁴, analysing the opportunities and risks of learning analytics in K-12 education, emphasise the potential of analytics for individualised learning, formative assessment, and support for equity. At the same time, they warn against misinterpreting data, violating privacy, and excessive reliance on digital indicators. This is important for the present study because team interaction in a digital environment leaves digital traces that require careful pedagogical interpretation. They do not replace the teacher's professional judgment, but extend the opportunities for observation and reflection.

In pre-service computer science teacher training, it is also important to consider that the digital educational environment can support not only

³¹ Jetzinger F., Baumer S., Michaeli T. Artificial intelligence in compulsory K-12 computer science classrooms: A scalable professional development offer for computer science teachers. *Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2024. Vol. 1. P. 1461–1467. <https://doi.org/10.1145/3626252.3630782>

³² Yim I. H. Y., Su J. Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. *Journal of Computers in Education*, 2024. Vol. 12, p. 93–131. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9>

³³ Cohn C., Snyder C., Fonteles J., Montenegro J., Biswas G. A multimodal approach to support teacher, researcher and AI collaboration in STEM+C learning environments. *British Journal of Educational Technology*, 2024. Vol.56, Is. 2. Pp. 595-620. <https://doi.org/10.1111/bjet.13518>

³⁴ Paolucci C., Vancini S., Bex R. T., Cavanaugh C., Salama C. D., de Araujo Z. A review of learning analytics opportunities and challenges for K-12 education. *Heliyon*, 2024. Vol. 10, № 4. Article e25767. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25767>

collaboration but also self-regulation, metacognition, and a reflective culture. Zarestky et al.³⁵, in a study of reflective writing in computational science and engineering courses, found that reflective practices support the development of metacognitive awareness, self-regulated learning, critical thinking, and problem-solving. Arefian, Çomoğlu, and Dikilitaş³⁶, analysing ChatGPT-driven collaborative reflective practice in a community of practice, also showed that individual reflection with ChatGPT can prepare participants for more meaningful collective reflection. These results are important for developing a methodology for team interaction, since team activity requires not only the joint completion of a task but also reflection on one's own contribution, roles, difficulties, communication decisions, and the quality of the shared product.

A separate layer of research concerns institutional conditions, without which team and digital interaction cannot become sustainable. Diab and Green³⁷, analysing support for novice teachers, show the importance of formal and informal support networks, mentoring, induction programmes, emotional safety, and professional guidance. Dahri et al.³⁸ demonstrate that motivation to adopt blended learning in teacher professional development depends on a combination of internal and external factors, as well as on the characteristics of the educational environment. Revina et al.³⁹, studying long-term problems in teacher professional development reforms in Indonesia, show that the formal existence of programmes does not guarantee quality if coherence, relevance, consideration of teachers' prior experience, feedback, and follow-up support are absent. All these findings confirm that the development of team interaction in pre-service computer science teachers requires not isolated exercises, but an integrated pedagogical organisation.

Thus, the analysis of current research shows that the problem of team interaction in pre-service computer science teachers lies at the intersection

³⁵ Zarestky J., Bigler M., Brazile M., Lopes T., Bangerth W. Reflective writing supports metacognition and self-regulation in graduate computational science and engineering. *Computers and Education Open*, 2022. Vol. 3. Article 100085. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100085>

³⁶ Arefian M. H., Çomoğlu I., Dikilitaş K. Understanding EFL teachers' experiences of ChatGPT-driven collaborative reflective practice through a community of practice lens. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 2024. Vol. 20(2). Pp. 318–333. <https://doi.org/10.1080/17501229.2024.2412769>

³⁷ Diab A.-K., Green E. Cultivating resilience and success: Support systems for novice teachers in diverse contexts. *Education Sciences*, 2024. Vol. 14, № 7. Article 711. <https://doi.org/10.3390/educsci14070711>

³⁸ Dahri N. A., Yahaya N., Al-Rahmi W. M., Noman H., Alblehai F., Kamin Y., Soomro R. B., Shutaleva A., Al-Adwan A. S. Investigating the motivating factors that influence the adoption of blended learning for teachers' professional development. *Heliyon*, 2024. Vol. 10, № 15. Article e34900. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34900>

³⁹ Revina S., Pramana R., Bjork C., Suryadarma D. Replacing the old with the new: Long-term issues of teacher professional development reforms in Indonesia. *Asian Education and Development Studies*, 2023. Vol. 12, № 4/5. P. 257–274. <https://doi.org/10.1108/AEDS-12-2022-0148>

of several research areas: digital pedagogical competence, computer science teacher education, TPACK-guided professional development, collaborative learning, project activity, professional communities, soft skills, learning analytics, and new technological fields, including artificial intelligence. At the same time, despite growing interest in teachers' digital competence, collaboration in the educational environment, distributed leadership, and the use of collaborative digital tools, the problem of team interaction as a component of the professional training of pre-service computer science teachers has not yet received sufficiently integrated attention. Its content, structure, assessment criteria, pedagogical conditions, and development methodology still require clarification.

Therefore, the research problem in this section is that a gap persists between the current requirements for the professional activity of computer science teachers and the actual practice of their training. Educational reality already requires a teacher capable of digitally mediated team interaction, yet the training system does not always give this capacity sufficient attention as an independent learning outcome. For this reason, the study of team interaction as a component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers is timely and scientifically justified.

The aim of this section is to provide a theoretical justification for team interaction as a component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers, to clarify its content and structure, to define the criteria and indicators of its formation, to characterise the pedagogical conditions and methodology for its development in a digital educational environment, and to analyse the results of the pilot testing of the proposed approach. Achieving this aim requires a consistent examination of several interrelated tasks: identifying the role of digital transformation in changing the professional model of the computer science teacher; clarifying the place of team interaction in the structure of the teacher's professional training; analysing the pedagogical potential of the digital educational environment; justifying the components, criteria and indicators of team interaction formation; describing the methodology for its development and interpreting the results of the pilot experiment.

The aim of this section is to provide a theoretical justification for team interaction as a component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers, to clarify its content and structure, to define the criteria and indicators of its formation, to describe the pedagogical conditions and methodology for its development in a digital educational environment, and to analyse the results of the pilot testing of the proposed approach. Achieving this aim involves a consistent examination of several

interrelated tasks: identifying the role of digital transformation in changing the professional model of the computer science teacher; clarifying the place of team interaction in the structure of the teacher's professional training; analysing the pedagogical potential of the digital educational environment; justifying the components, criteria and indicators of team interaction formation; describing the methodology for its development; and interpreting the results of the pilot experiment.

2. Methods

The study is theoretical and applied. It aims to justify team interaction as a component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers. Its methodological basis comprises competence-based, activity-based, environmental, and project-based approaches. These approaches made it possible to consider team interaction not as a separate social skill, but as an integrated professional capacity formed through digitally mediated joint activity.

To achieve the study's aim, a set of interrelated methods was used. A theoretical analysis of the research literature was applied to clarify the meanings of the concepts "team interaction", "digital educational environment", "digital pedagogical competence", "collaborative activity", and "professional training of pre-service computer science teachers". This method enabled the identification of current approaches to understanding teachers' digital competence, the determination of the role of collaboration and communication in its structure, and the justification of the need for purposeful development of team interaction among pre-service computer science teachers.

The methods of generalisation, systematisation and comparison were used to compare concepts that are close in meaning: group work, cooperation, collaboration, and team interaction. This made it possible to define the specific features of team interaction as a professionally significant characteristic of the future teacher. It includes a shared goal, role coordination, distributed responsibility, coordination of actions, joint creation of a digital product, and reflection on the team process.

The modelling method was used to develop the structure of team interaction in pre-service computer science teachers. On this basis, its interrelated components, criteria, and indicators of formation were identified. The model accounted for the specific features of the professional activity of computer science teachers, including the need for digital communication, the design of educational solutions, the joint creation of digital resources, the coordination of learners' group activity, and the use of tools within a digital educational environment.

The design method was used to describe the methodology for developing team interaction. It made it possible to define the pedagogical conditions, content lines, stages of work, types of tasks, and digital tools suitable for developing team interaction in pre-service computer science teachers. Particular attention was paid to tasks in which teamwork is not a formal requirement, but a necessary condition for achieving the result. These included the joint development of digital educational materials, the creation of visual models, work with digital boards, preparation of lesson fragments, collective editing of documents, and reflective analysis of the team process.

The empirical component of the study consisted of pilot testing the proposed approach. Its purpose was to check the pedagogical appropriateness of the developed methodology and to identify changes in particular manifestations of team interaction among pre-service computer science teachers. During the pilot testing, pedagogical observation, analysis of team activity products, analysis of digital artifacts of joint work, learners' reflective responses, and expert assessment of completed tasks were used. The digital artifacts included shared documents, comments, revision history, materials from digital boards, role distribution tables, and intermediate and final results of teamwork.

The assessment of team interaction formation was conducted according to a set of defined criteria and indicators. In particular, attention was paid to participants' ability to agree on a shared goal, distribute roles, maintain constructive digital communication, follow the logic of joint design, create a coherent digital product, respond to the suggestions of other participants, make reasoned revisions, and reflect on their own contribution to the team result. This approach made it possible to analyse not only the final product, but also the process of team interaction itself.

The results of the pilot testing were processed through qualitative analysis of observations, digital traces of activity, reflective materials, and expert conclusions. The main focus was not on statistical proof of the methodology's effectiveness, but on identifying the pedagogical logic of its use, describing changes in the nature of teamwork, and determining the conditions under which a digital educational environment genuinely supports the development of team interaction among pre-service computer science teachers.

Taken together, the methods used made it possible to move from a general theoretical understanding of the problem to the construction of a structured model of team interaction, the definition of criteria for its formation, the description of a development methodology, and the interpretation of the results of its pilot implementation in the professional training of pre-service computer science teachers.

3. Results

3.1. Team Interaction in the Structure of Modern Professional Training of Pre-service Computer Science Teachers

3.1.1. Digital Transformation of Education and the Changing Professional Model of the Pre-service computer science teacher

The digital transformation of education is one of the processes that changes not only the instrumental support of the educational process, but also the very structure of pedagogical activity. It should not be reduced to the mechanical introduction of separate platforms, services, electronic resources, or online communication methods. In a deeper sense, it involves a restructuring of the ways in which knowledge is created, transmitted, and understood; a transformation of models of professional interaction; changes in the nature of feedback; more complex coordination among participants in the educational process; and the gradual movement of pedagogical work into networked, flexible, and technologically mediated modes of functioning. For this reason, digital transformation should be viewed not as an external technological background, but as a factor that changes the professional model of the pre-service computer science teacher.

In contemporary research discourse, the idea is increasingly supported that a teacher's effective activity in a digital environment is not determined solely by technical skills. What is more important is the ability to integrate digital tools into the learning logic in ways that support the achievement of educational goals, promote meaningful interaction, and open up opportunities for independent work, collaboration, critical thinking, and creativity. It is in this sense that teachers' digital competence ceases to be a purely technological characteristic and acquires pedagogical, communicative, organisational and reflective dimensions. This approach can be seen, in particular, in the work of Tzafilkou et al.⁴⁰, where digital competence is treated as a multidimensional construct, and in the study by Alom and Ramalingappa⁴¹, which stresses the complex structure of teachers' digital literacy and the need for its systematic understanding.

For pre-service computer science teachers, this change is especially significant, since their professional training is traditionally associated with a higher level of digital involvement. However, this initial connection

⁴⁰ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

⁴¹ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

with technology may create the false impression that computer science education automatically ensures readiness for work in the context of digital transformation. In fact, possession of digital tools and readiness for digitally mediated pedagogical activity are not the same. A pre-service computer science teacher may work successfully with programming environments, visualisation services, cloud resources, or learning management platforms, but at the same time may show insufficiently developed skills related to team coordination, facilitation of digital interaction, joint creation of an educational product, or pedagogically appropriate role distribution within a team. For this reason, digital transformation places not only higher, but also qualitatively new demands on this group of future teachers.

In a more traditional model of professional training, the computer science teacher was often viewed primarily as a specialist who should have a solid knowledge of the subject, possess algorithmic thinking, and be able to work with computer hardware, software, networks, digital resources, and methods of teaching relevant topics. These components undoubtedly remain the basis of professional training. However, they no longer cover the full content of the modern professional role. Today, the computer science teacher increasingly acts not only as a bearer of specialised knowledge, but also as an organiser of the digital educational environment, a participant in the development of shared educational solutions, a coordinator of group forms of activity, a consultant on the use of digital tools, and a promoter of digital culture and communication within the educational institution. This means that the teacher's professional model is shifting from individualised subject teaching towards a more complex form of pedagogical participation, in which technological, communicative, organisational and project dimensions interact with each other.

One of the most significant consequences of digital transformation is the changing nature of pedagogical communication. Previously, a large part of professional interaction was conducted face-to-face, through meetings, methodological groups, consultations, and direct oral discussion. Now, more and more communication processes are moving into the digital space. This concerns communication between the teacher and learners, professional interaction among colleagues, and the teacher's participation in the creation of shared courses, materials, learning events, projects or internal documentation. Digital communication has a different pace, a different structure, a different level of message recording and a different culture of coordination. In this form of communication, particular importance is given to clarity of wording, the ability to provide brief and precise feedback, the ability to maintain the team's working rhythm, to prevent misunderstandings, and to preserve a functional ethics of communication. Thus, the professional model of the pre-service computer

science teacher can no longer be based only on the idea of the teacher as an individual user of digital tools. It must include a culture of digital professional communication as an integral part of pedagogical activity.

The nature of professional responsibility also changes substantially. In a digital educational environment, the teacher works less often as a fully autonomous performer who independently defines almost all parameters of their own pedagogical activity. Instead, the teacher's work is increasingly included in a system of coordinated actions, shared platforms, regulations, environments, digital courses, resource databases, monitoring procedures, and collective coordination. This does not abolish pedagogical autonomy, but gives it a different character. It becomes less isolated and more connected to the activities of other participants. The pre-service computer science teacher must be ready not only to make decisions about the content or form of a particular lesson, but also to work within a system of digitally mediated shared responsibility, where their own actions are constantly related to the general logic of the team, platform, course, or joint project.

Digital transformation also affects the very understanding of the educational product. In the traditional format, the result of a teacher's professional activity was often associated with a lesson delivered, a lesson plan prepared, an assignment checked, or an individually created learning material. In the modern digital environment, the educational product increasingly has a collective nature. It may be a jointly developed digital course, a database of learning materials, an integrated project, a series of visualisations, interactive exercises, electronic instructions, analytical materials, digital cases or lesson scenarios. For the pre-service computer science teacher, this change is especially indicative, as a large part of their activity is connected with a structured, technologically shaped, and potentially collectively created result. This requires preparation for work in the mode of shared digital authorship and, therefore, for team interaction as a specific way of professional activity.

It is also important that digital transformation changes the relationship between technical skill and pedagogical appropriateness. Previously, digital tools were often seen as an additional resource that could be used, if desired, to diversify teaching. Now they are becoming the environment in which a substantial part of educational activity takes place. This means that the teacher no longer simply applies a tool, but acts within an instrumentally organised space. For this reason, as Lin et al.⁴² showed, what matters most is not only general ICT competence, but digital pedagogical competence, which mediates

⁴² Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

the teacher's ability to create conditions for collaboration, communication, and responsible use of technologies. For the pre-service computer science teacher, this is of fundamental importance: they must not only be technologically prepared themselves, but also be able to turn a digital tool into a means of organising meaningful joint activity.

The influence of digital transformation on the relationship between teachers' professional training and expectations of learners also deserves special attention. The modern school is oriented not only to the development of subject knowledge but also to digital literacy, communication, collaboration, critical thinking, the ability to work in a team, solve problems, and create products in a digital environment. Accordingly, the computer science teacher must not only be able to emphasize the importance of these skills but also to demonstrate them in their own professional activity. A teacher who does not have experience of team-based digital interaction is unlikely to be able to organise it effectively for learners. Thus, the future professional model of the computer science teacher is also determined by the need to be a bearer of the practices they are expected to develop in others.

In current conditions, the growing role of collaborative and networked forms of professional development is especially visible. Teachers increasingly learn not only through individual study of materials but also through professional communities, resource exchange, collective solutions to methodological problems, joint content creation, and mutual consultation in the digital environment. Amemasor et al.⁴³ draw attention to this point, stressing that effective professional development for teachers in the digital field is linked to collaborative formats, practical involvement, and systemic support. These findings are important not only for practising teachers, but also for the system of training future teachers. If the professional life of a teacher is becoming more networked and team-based, then professional training should equip teachers with the corresponding ways of acting before entering real educational practice.

For the pre-service computer science teacher, this tendency has an additional dimension. Unlike many other subject areas, computer science naturally tends towards joint construction, modelling, programming, work with visualisations, the building of digital systems, and the design of algorithmic solutions. Many types of activity in computer science education are inherently collective or, at least, benefit greatly from a team-based format. This concerns the creation of digital learning materials, the development of interdisciplinary projects, work with models, the organisation of STEM activities, the design of learning

⁴³ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1541031>

cases, and the use of analytical dashboards and digital boards. Accordingly, the professional model of such a teacher should include not only subject expertise but also readiness to work within a system for the joint creation and coordination of pedagogical decisions.

At the same time, digital transformation reveals several risks that make preparation for team interactions even more relevant. Fragmented tools, overloaded communication channels, inconsistent platforms, unclear communication rules, the absence of shared standards for preparing materials, or the absence of responsibility for coordination may not strengthen professional collaboration but, on the contrary, make it more difficult. For this reason, the digital environment can be both a factor supporting team work and a source of additional difficulties if it is organised chaotically. Research findings stress that what matters is not the individual mastering of separate services, but systemic institutional support for digital transformation, platform coherence, and a clear logic of professional interaction⁴⁴. For the system of training pre-service computer science teachers, this means that it is necessary to teach not simply a tool, but work in a functionally organised digital environment.

All of the above allow us to state that the digital transformation of education changes the professional model of the pre-service computer science teacher in at least several interconnected directions. First, it broadens the content of the professional role by adding to subject-specific and methodological training new functions related to the digital organisation of the educational process, communication, analytics, joint product creation, and coordination of interaction. Second, it changes the nature of professional autonomy, moving it into a mode of connected, networked, and distributed responsibility. Third, it strengthens the importance of team interaction as a professional quality, without which modern pedagogical activity in a digital environment loses its effectiveness. Fourth, it requires a reconsideration of the very logic of professional training, which should develop not only individual digital skills but also readiness for joint activity in a digitally organised educational space.

Thus, the digital transformation of education is not a secondary circumstance, but a systemic factor in changing the professional model of the pre-service computer science teacher. It changes functions, responsibility, communication, the nature of professional participation, and the expected outcomes of pedagogical activity. For this reason, in the structure of modernising the professional training of pre-service computer science teachers, particular

⁴⁴ Hodges C. D., Barbour M., Pratt K. The persistent deficit: Historical gaps in the preparation of K-12 educators for digital teaching. *Journal of Online Learning Research*, 2026. Vol. 12, No 1. Pp. 169-193. <https://doi.org/10.70725/361467zxvzis>

importance is given to the development of qualities that ensure effective activity in the digital environment not only individually, but also in interaction with others. One of these qualities is team interaction, which is therefore moving from the periphery of professional training to the number of its substantively significant components.

3.1.2. Team Interaction as a Professionally Significant Characteristic of the Pre-service computer science teacher

In modern teacher education, it is increasingly clear that the professional training of future teachers cannot be built solely on the mastery of subject content, teaching methods, and digital tools. Educational practice increasingly requires the ability to engage in joint design, coordinate activities, participate in the collective creation of educational solutions, support communication in the digital environment, and participate in professional communities. In this sense, team interaction should be considered not as an optional or auxiliary quality, but as a professionally significant characteristic of the pre-service computer science teacher. It is this characteristic that supports the move from an individualised model of professional training to one that corresponds to the real logic of modern pedagogical work under conditions of digital transformation in education^{45,46}.

For pre-service computer science teachers, this characteristic is particularly important for several reasons. First, computer science as an educational field is directly connected with activity that naturally tends towards cooperation, construction, the coordination of algorithms of action, the joint creation of digital products, the design of environments and collective problem-solving. Second, the pre-service computer science teacher will work in a professional field where digital tools often become the basis not only for individual work, but also for team interaction. Third, in many cases this teacher is expected to organise learners' group activity, advise on digital collaboration, and facilitate team-based solutions to learning tasks. Thus, for the pre-service computer science teacher, team interaction is not only a way of taking part in professional activity but also part of their future pedagogical influence.

In research discourse, the concept of team interaction needs to be clearly distinguished from other closely related categories. This is important

⁴⁵ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁴⁶ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

because educational practice often equates group work with teamwork. Such an approach simplifies the problem and prevents us from identifying which professional qualities pre-service computer science teachers should develop. Group interaction is the broadest concept and may refer to any form of joint presence or exchange of actions among several participants. Cooperation involves dividing a shared task into separate parts performed by different participants, although these contributions often remain relatively autonomous. Collaboration has a deeper character, as it involves the joint development of a solution, intensive coordination of positions, mutual influence, and the collective construction of meaning. Team interaction combines elements of cooperation and collaboration and also includes additional features: stability of interaction, a shared goal, role structure, distribution of responsibility, and orientation towards a common result⁴⁷.

For teacher education, this distinction is essential. The pre-service computer science teacher should be prepared not simply to participate in group activities, but to engage in joint activities in which each participant acts not beside others, but together with them. This difference defines the professional quality of team interaction. It involves the ability to see a shared goal, relate one's own contribution to the overall logic of the work, accept collectively developed decisions, maintain team dynamics, respond to coordination difficulties, participate in the distribution of roles and responsibilities, and work towards a unified result. In computer science education, this may be seen in the joint design of fragments of a digital course, the collective creation of visual materials, the development of learning algorithms, the modelling of digital cases, and work with shared documents, boards, task-tracking systems or collaborative editing platforms.

The essence of team interaction among pre-service computer science teachers cannot be fully understood without accounting for changes in the teacher's professional role. In a more traditional model, the teacher was often seen as an individual bearer of subject knowledge who independently organises learning, assesses results, and manages the educational process within their own subject responsibility. However, modern educational practice increasingly demonstrates a different logic. The teacher participates in the joint creation of educational programmes and materials, works in networked professional communities, coordinates project activity, integrates digital resources, interacts with colleagues in the development of interdisciplinary tasks, and increasingly acts under conditions of distributed educational

⁴⁷ Brannan L., Parrish C. W., Szatkowski H. D. Team-based learning. *Handbook of research on critical thinking strategies in pre-service learning environments*. Hershey : IGI Global, 2019. P. 89–108. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7823-9.CH005>

leadership. For this reason, team interaction begins to function not only as a socially desirable quality but as a functionally necessary professional characteristic.

For the pre-service computer science teacher, this necessity is even more evident. A large part of their future professional activity involves participation in processes that cannot be fully carried out according to the logic of isolated individual work. This includes organising digital projects, supporting learners' work in cloud environments, jointly creating learning content, developing materials for blended or distance formats, cooperating within STEM initiatives, working with digital visualisations and dashboards, and participating in the internal digital infrastructure of the educational institution. All of this requires the capacity for team interaction, not as an additional competence, but as a natural condition of professional effectiveness.

Research on digital pedagogical competence also confirms that collaboration and communication are among its basic components. In particular, Tzafilkou et al.⁴⁸ stress that teachers' digital competence includes not only work with technologies, but also the ability to interact, create digital content, and develop professionally. A similar view is expressed by Alom and Ramalingappa⁴⁹, who emphasise that teachers' digital training should include not only technical, but also socio-pedagogical mastery of the digital environment. The findings of Lin et al.⁵⁰ are especially important, as they show that digital pedagogical competence serves as a link between teachers' technical skills and their ability to foster learners' collaboration, communication, and responsible use of technology. These points give grounds for considering team interaction as one manifestation of a broader professional readiness for activity in a digital educational environment.

However, team interaction cannot be reduced only to communicative openness or general goodwill in working with others. Its professional significance lies in its structured character and in its expression in concrete actions. For the pre-service computer science teacher, at least several interconnected dimensions of its manifestation can be distinguished. The first dimension is communicative. It includes the ability to express ideas

⁴⁸ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

⁴⁹ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁵⁰ Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

clearly on digital channels, take part in discussions, ask clarifying questions, give reasoned feedback, respond appropriately to revisions, and maintain the flow of interaction. The second dimension is productive. It concerns the joint creation of a result, which may take the form of a digital document, a visual model, a learning scenario, a course fragment, an interactive exercise, or another educational product. The third dimension is organisational and is connected with role distribution, meeting deadlines, coordinating stages of work, using digital planning tools, and maintaining the integrity of the process. The fourth dimension is reflective, as team interaction requires the ability to analyse one's own contribution, notice coordination difficulties and adjust actions according to the team goal.

It is this multidimensionality that makes team interaction a professionally significant characteristic rather than simply a form of social behaviour. It combines activity-based, communicative, technological, and value-related dimensions. The pre-service computer science teacher should not only be able to work with others, but also understand the logic of joint activity in a digital environment, use the tools that support it, follow the ethics of digital communication, value the collective result, and be ready to take responsibility for the shared process. In this sense, team interaction is both a way of acting and an element of the teacher's professional culture.

The connection between team interaction and the development of educational leadership is also important. In current conditions, leadership is increasingly understood as less of a purely individual managerial trait. Instead, the idea of distributed leadership is becoming more common. In this model, the organisation of joint activity, team support, process facilitation, initiation of change, and coordination of decisions are carried out not only by a formal leader, but by different participants in the educational process depending on the situation. For the pre-service computer science teacher, this perspective is especially important, since they often find themselves at the centre of digital innovations, advise colleagues, help organise the use of digital tools, and act as a mediator between technological possibilities and pedagogical decisions. Thus, team interaction also becomes a basis for developing elements of professional leadership.

The significance of team interaction is further strengthened by its connection with the development of soft skills, which are increasingly seen in modern teacher education as a necessary condition of professional capacity. Communication, collaboration, flexibility, responsibility, the ability to reach agreement, the ability to work with different positions, critical reflection on one's own actions, and support for group work are closely connected with the effectiveness of pedagogical activity in a digital environment. The study

by Yurchenko et al.⁵¹ shows that specially organised team activity can be a factor in the development of soft skills, while the works of Semenog et al.⁵² demonstrate that communication-rich forms of activity can influence more complex personal and professional characteristics. For the pre-service computer science teacher, this means that team interaction has not only instrumental, but also developmental value: it forms qualities that will later influence the style of pedagogical activity, the nature of professional communication, and the ability to work under conditions of educational uncertainty.

In a digital educational environment, team interaction acquires another essential feature: it becomes much more visible for pedagogical analysis. Shared documents, revision histories, comments, visual boards, task calendars, digital traces of participation, and the structure of the created product make it possible to see not only the final result, but also the process of teamwork itself. This opens new opportunities for pedagogical diagnosis, reflection, and purposeful development of the relevant skills. In this respect, the findings of Echeverría et al.⁵³ are indicative. They demonstrated that multimodal dashboards can strengthen reflection on team activity and help the teacher to interpret the process of joint work more effectively. For the training of pre-service computer science teachers, this is especially important, as it enables moving team interaction from general reasoning to more concrete pedagogical observation and assessment.

At the same time, the professionally significant role of team interaction in the training of pre-service computer science teachers does not imply that it is automatically formed through the study of professional disciplines or the use of digital services. On the contrary, the presence of separate group tasks or digital platforms does not guarantee the emergence of teamwork as a stable professional quality. Without specially organised conditions, learners may remain within the limits of formal division of actions, superficial communication, fragmented editing, or situational coordination. For this reason, team interaction should be

⁵¹ Yurchenko A., Drushlyak M., Khvorostina Y., Ostroha M., Ponomarenko V., Semenikhina O. The impact of team competitions on the development of soft skills in youth. *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2024. P. 323–328. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569574>

⁵² Semenog O., Hrona N., Khomych T., Stasiuk T., Yurchenko A., Semenikhina O. Communicative tasks as a means of developing the emotional intelligence of students. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 2024. Vol. 16, No. 4. P. 46–57. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2024.04.04>

⁵³ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

an object of purposeful pedagogical development. It should not be assumed, but designed into the educational process through relevant tasks, criteria, forms of support, and tools for reflection.

The professional significance of team interaction is also evident in its connection to the quality of the computer science teacher's future work. A teacher who has experience of coherent team work in a digital environment will better understand the logic of joint product creation, organise learners' group activity more accurately, work more confidently in collaboration with colleagues, and integrate digital tools into pedagogical practice more effectively. Conversely, the absence of such experience may lead even a technically prepared teacher to reproduce an individualised model of activity that is not sufficiently suitable for the current demands of digital education. For this reason, team interaction should be considered not as an external addition to professional competence, but as one of its working forms.

Thus, team interaction is a professionally significant characteristic of the pre-service computer science teacher, since it reflects their ability to act in a digitally rich, communicatively complex, project-oriented, and networked pedagogical reality. It combines communication, coordination, joint product creation, responsibility for a common result, process facilitation, and reflective understanding of joint activity. For modern professional training, it is important not only to recognise the significance of this characteristic, but also to give it clearer theoretical and methodological form. Therefore, the next logical step is to consider the digital educational environment as a space where team interaction among pre-service computer science teachers can be purposefully and systematically developed under pedagogical guidance.

3.1.3. The Digital Educational Environment as a Space for Developing Team Interaction in Pre-service Computer Science Teachers

In the training of pre-service computer science teachers, the digital educational environment should be viewed not as a set of separate technical tools, but as a specially organised space for professional formation. Within this space, learning content, forms of communication, digital tools, ways of coordinating activity, the logic of joint product creation, and conditions for pedagogical reflection are brought together. This understanding is essential because, in modern teacher education, the environment increasingly determines not only access to resources but also the way learners participate in professionally meaningful practices. For the pre-service computer science teacher, this means that the digital environment is at once an object of mastery, a means of learning, and a model of future professional

reality. For this reason, the issue of developing team interaction cannot be addressed without analysing how the digital educational environment is organised, which forms of work it supports, and which types of professional participation become possible within it^{54,55,56}.

In a broader pedagogical sense, the digital educational environment is not limited to a distance learning platform, a video communication system, or a repository of digital materials. It should be understood as an integrated infrastructure of activity, in which communication channels, collaborative editing services, visualisation tools, coordination instruments, feedback mechanisms, digital artifacts and norms of interaction are combined. For the pre-service computer science teacher, such an environment is especially important because, in later professional practice, they will not simply use it, but will also participate in its construction, adaptation, and pedagogical content development. Accordingly, during professional training, the future teacher should gain experience of working in such an environment, one that not only provides access to learning resources, but also creates conditions for teamwork, distributed responsibility, joint decision-making, and the collective creation of an educational product.

The problem is that, in practice, the digital educational environment is often organised as a set of disconnected services, each of which performs a narrow technical function, but is not always integrated into a pedagogically meaningful logic of interaction. In this case, it mainly supports individualised activity: downloading materials, receiving instructions, submitting completed tasks, and leaving occasional comments. However, this is not enough for developing team interaction. What is needed is an environment in which joint activity is not an incidental element, but one of the basic forms of participation. This means that the digital environment should be designed so that collective discussion, coordination of positions, role distribution, collaborative editing, process visualisation, tracking of contributions, recording of interim decisions, and pedagogical reflection on teamwork become naturally possible.

⁵⁴ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

⁵⁵ Богославський С., Семеніхіна О., Юрченко А. Порівняльний аналіз українських та європейських практик організації цифрового освітнього середовища. *Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського*, 2025. Випуск 2 (151). С. 38–42. <https://doi.org/10.24195/2617-6688-2025-2-6>

⁵⁶ Yurchenko A., Mulesa P., Semenikhina O. Individual educational trajectory building as a successful teacher skill in the digital age. *Pedagogy and Education Management Review*, 2023. Vol. 2. Pp. 64–72. <https://doi.org/10.36690/2733-2039-2023-2-64-72>

For the pre-service computer science teacher, this way of posing the issue is especially important, since a substantial part of their future activity will take place in digitally organised environments. This concerns not only the use of electronic registers or learning management systems, but also work in cloud spaces, collaborative document creation services, digital boards, visual editors, tools for developing learning resources, and instruments for communication and coordination of project activity. This means that, in professional training, the digital environment should be treated not as an addition to traditional learning, but as a natural field of professional formation. The more methodologically well organised it is, the more likely it is that the learner will not only master the tools, but also gain experience of team interaction within them^{57,58}.

A distinctive feature of the digital educational environment as a space for developing team interaction is its ability to make joint activity visible. In the traditional classroom format, a large part of the processes of agreement, clarification, micro-distribution of roles, and current coordination remains unrecorded or is recorded only partly. Digital tools, by contrast, make it possible to see a document's revision history, the sequence of changes, participants' comments, time markers, the structure of a board, the logic of task movement, and the nature of feedback. All this turns team interaction into a more observable and pedagogically analysable process. This is one of the important advantages of the digital environment: it not only supports interaction, but also creates conditions for its awareness, assessment, and purposeful development. A similar logic is confirmed by the study of Echeverría et al.⁵⁹, which showed that multimodal dashboards can strengthen reflection on team activity and make particular aspects of the group process visible.

At the same time, visibility is not the same as effectiveness. The fact that a digital environment allows the team process to be tracked does not yet guarantee that this process will be of high quality. For this reason, the pedagogical design of the environment is decisive. It should include

⁵⁷ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*. 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁵⁸ Soroko N., Shymon O. Teachers' readiness to use digital tools in a STEAM-oriented educational environment. *Educational Analytics of Ukraine*, 2025. № 1. P. 28–42. <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2025-1-28-42>

⁵⁹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

such forms of activity organisation that make team interaction internally necessary. If a task can be completed fully on an individual basis, then formally placing learners in a group will not necessarily foster teamwork. By contrast, when a task requires the coordination of approaches, the combination of different contributions, the joint development of a solution, or the collective creation of a digital product, the environment begins to function not as a neutral background, but as a mechanism for organising team activity. In this respect, the findings of Abildinova et al.⁶⁰ and Amemasor et al.⁶¹ are especially indicative. They show convincingly that effective entry into digital practice is linked with active activity, collaborative formats, and systematic methodological support, not only with the technical mastery of tools.

In the training of pre-service computer science teachers, the digital environment adds value by enabling connections between team interaction and professionally relevant content. This means that collaboration can be built not around artificial training exercises, but around tasks that are realistic for future pedagogical practice: developing a fragment of a digital lesson, creating an interactive exercise, building a visual model, preparing a learning case, collectively designing materials for blended learning, and creating instructional or analytical resources. In this case, the digital environment becomes a space in which subject-specific, communication, and organisational skills are formed at the same time. This integration makes it especially productive for modernising the professional training of pre-service computer science teachers.

It is also important that the digital educational environment supports different modes of interaction and therefore creates broader opportunities for developing teamwork than the traditional face-to-face model. The synchronous mode enables quick discussion, immediate clarification, facilitation of the group process, and real-time decision coordination. The asynchronous mode allows working with material at one's own pace, returning to comments, revising specific fragments, making edits after reflection, and supporting a longer cycle of joint product creation. For the pre-service computer science teacher, this experience is extremely important, as their later professional activity will also require the ability to organise and combine both modes. Thus, the digital environment not only

⁶⁰ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

⁶¹ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

expands technical possibilities but also changes the temporal and structural logic of team interaction.

The role of digital visualisation tools in organising team interaction should also be emphasised. For computer science education, visualisation is not an incidental element, but one of the natural ways of organising content, designing the process, and presenting the result. Digital boards, diagrams, mind maps, role tables, task trackers, dashboards, and interactive spaces for joint planning help structure team activity. They allow participants to see not only separate messages or fragments of a document, but also the process's overall logic. For this reason, a visually organised digital environment supports team coordination much more strongly than an environment in which interaction is scattered across unrelated channels. A similar conclusion is consistent with the works of Rudenko et al.^{62,63}, which show that digital visualisation strengthens coordination, understanding, and analytical support for joint activity.

However, for the digital educational environment to become a real space for developing team interaction, it must be not only technologically supported, but also normatively and culturally organised. Teamwork in the digital space requires clear communication rules, understanding of roles, defined ways to coordinate decisions, adherence to the ethics of digital communication, respect for the contributions of other participants, and readiness to work in an open editing mode. Without this, even a well-built technical environment may turn into a space of chaotic or conflict-based interaction. For the pre-service computer science teacher, this is especially significant, since in later practice they will themselves be responsible for creating such a culture of digital interaction in work with learners.

The digital educational environment also has considerable reflective potential. It accumulates digital artifacts that can be treated not only as results of activity, but also as material for further analysis of the team process. Revision history, the structure of discussion, ways of responding to comments, the nature of coordination, the distribution of activity among participants, the trajectory of product creation, the pace of task progress, and changes in the structure of a visual board all open up opportunities for more specific pedagogical reflection. For the pre-service computer science teacher,

⁶² Rudenko Y., Ahadzhyanov-Honsales K., Ahadzhanova S., Batalova A., Diemientiev Y., Semenikhina O. Interactive boards as digital tools in the modern educational process. *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2024. P. 329–333. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569393>

⁶³ Rudenko Y., Zhurba K., Bekh I., Petrenko S., Bobokalo A., Semenikhina O. Using dashboards in the development of students' analytical thinking. *2025 48th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2025. P. 406–411. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131997>

this experience is highly valuable, as it develops the ability to view the digital environment not only as a means to complete a task, but also as a source of data about the process of interaction itself. This is especially important in conditions where modern education increasingly relies on analytical support for the educational process and the interpretation of digital traces of activity⁶⁴.

It should also be noted that the digital educational environment influences various components of team interaction in different ways. The communicative component is supported through synchronous and asynchronous communication channels, commenting mechanisms, and opportunities for rapid feedback. The cooperative-productive component develops through tools for collaborative editing, collective content creation, and structured work on a single digital product. The organisational-project component is formed through tools for visualising stages, role tables, calendars, trackers, digital boards, and various mechanisms for task distribution. Thus, the environment is not a homogeneous background, but a complex system of pedagogically significant resources, each of which can support separate dimensions of teamwork in different ways. For this reason, its analysis is a necessary step in studying team interaction as a component of the professional training of pre-service computer science teachers.

It is no less important that the digital environment creates opportunities for the gradual complication of team interaction. At the initial stage, it can support basic forms of joint discussion, short coordination exercises, or simple collective editing. Later, it enables moving on to more complex tasks that require role distribution, the creation of a multi-component digital product, coordination of standards, joint planning, and reflection on the process. Such gradual development is especially productive in teacher education, as it helps to avoid formalism and ensures learners' gradual movement into more mature forms of teamwork. In the training of pre-service computer science teachers, this is methodologically important because it allows the development of professional skills to be combined with the capacity for team activity in the digital space.

Thus, the digital educational environment should be viewed as a full space for developing team interaction in pre-service computer science teachers. Its pedagogical productivity is determined not by the number of services used, but by how coherently it brings together communication,

⁶⁴ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

joint product creation, coordination of actions, process visualisation, rules of interaction, and reflective support. In this understanding, the digital environment becomes not only a technical resource, but also a space of professional formation, where the pre-service computer science teacher masters ways of acting without which modern pedagogical practice is no longer possible. For this reason, further analysis of team interaction requires a move towards its internal structure, criteria, and indicators of formation.

3.2. Structure, Criteria, and Indicators of Team Interaction Formation in Pre-service Computer Science Teachers

3.2.1. The Structure of Team Interaction in Pre-service Computer Science Teachers

The move towards analysing the structure of team interaction in pre-service computer science teachers is a natural step after clarifying the role of digital transformation in education and the importance of the digital educational environment for teachers' professional formation. If the previous subsections showed that the modern model of training cannot be limited to the individual mastery of professional and digital skills, it is now necessary to define more precisely which components constitute team interaction as a professionally significant characteristic. Without such clarification, it risks remaining a very general concept, useful for declarations but insufficiently suitable for pedagogical design, assessment, and purposeful development.

Research on cooperation, collaboration, digital pedagogical competence, and teacher professional development shows a common idea: effective team interaction is not simply the sum of communication skills or the result of placing people in a group. It has a complex internal organisation and combines activity-based, communicative, organisational and reflective aspects. For this reason, it should be considered as an integrated professional construct. It is expressed in the pre-service computer science teacher's ability to take part in the joint achievement of a goal, coordinate actions with other participants, create a collective result in a digital environment, and adjust their own behaviour according to the logic of teamwork. This approach is consistent with the current understanding of teachers' digital competence as a multidimensional system in which collaboration and communication have an important place^{65,66}.

⁶⁵ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁶⁶ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

The need for structural analysis is especially important in the training of pre-service computer science teachers. In this field, team interaction cannot be reduced to a general readiness to work with others. It is connected with work in cloud environments, the creation of shared digital content, the development of learning materials, the visualisation of ideas, the coordination of stages of a digital project, the facilitation of joint problem-solving, and the use of tools that make each participant's contribution visible. For this reason, the structure of team interaction should reflect not only the psychology of interpersonal cooperation, but also the specific features of digitally mediated pedagogical activity. In this understanding, it should include at least three interrelated dimensions: communication, joint product creation, and process organisation.

It is reasonable to proceed from the view that the structure of team interaction in pre-service computer science teachers includes three main components: communication-facilitation, cooperative-productive, and organisational-project. This structure makes it possible to avoid excessive fragmentation of the phenomenon while still covering the main ways in which it is expressed in a digital educational environment. These components do not exist separately. In the real educational process, they constantly overlap, strengthen one another and can be considered separately only for analytical purposes. However, distinguishing them makes it possible to define further the criteria, indicators and levels of team interaction formation.

The first component is communication-facilitation. Its importance follows from the fact that any team work in a digital environment begins not with product creation, but with the establishment and maintenance of functional interaction among participants. For the pre-service computer science teacher, this component includes the ability to communicate meaningfully in digital channels, express ideas clearly, ask clarifying questions, provide reasoned feedback, respond to the suggestions of others, support discussion and help the team move towards an agreed decision. It is also important that this is not only about general communicative activity, but about the facilitative dimension of interaction. The pre-service computer science teacher should be able not only to take part in a conversation, but also to support the team work process itself: to help structure discussion, notice communication failures, return the team's attention to the shared goal, support the involvement of less active participants and maintain a working atmosphere. In this sense, communication in the structure of team interaction is not a supporting element, but its functional core.

There are specific reasons for including the facilitative aspect within the communication component. In professional practice, the modern computer science teacher often works as an organiser of group activity, a consultant on

the use of digital tools and a coordinator of joint task completion. They should not only be able to communicate themselves, but also create conditions for the productive communication of others. For this reason, the communication component in the structure of team interaction should include the capacity for pedagogically appropriate facilitation. This logic is consistent with the findings of Lin et al.⁶⁷, who show that it is digital pedagogical competence, rather than technical skill alone, that mediates the teacher's ability to organise collaboration and the responsible use of technologies.

The second component is cooperative-productive. Its necessity is determined by the fact that a real team does not limit itself to exchanging views, but works towards creating a shared result. For the pre-service computer science teacher, this result often has a digital form. It may be a fragment of an electronic course, a lesson scenario, an interactive exercise, a set of visual materials, a digital case, a shared document, a learning instruction, a model or another educational product. Accordingly, the cooperative-productive component includes the ability to take part in the collective creation of such a product, coordinate one's own contribution with the contributions of others, and work in a mode of collaborative editing, revision and integration of parts into a coherent structure. It also includes readiness to accept changes suggested by other participants and to move away from a purely individual logic of authorship towards the logic of a collective result.

The productive dimension is precisely the element that distinguishes team interaction from superficial group activity. If joint work does not lead to the creation of an agreed result, it risks remaining at the level of parallel performance of separate actions. For the pre-service computer science teacher, this is especially significant, as their future professional activity involves the constant creation and adaptation of digital educational materials. Therefore, the capacity for collective digital authorship should be considered an important structural component of team interaction. In this respect, the findings of Brannan et al.⁶⁸ are indicative. They stress that team work has the greatest developmental potential when it is oriented towards the joint production of a solution and collective responsibility for the result, rather than towards the mechanical division of tasks.

The third component is organisational-project. It is connected with the fact that team interaction in a digital educational environment requires not only communication and joint product creation, but also the ordering of the activity

⁶⁷ Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

⁶⁸ Brannan L., Parrish C. W., Szatkowski H. D. Team-based learning. *Handbook of research on critical thinking strategies in pre-service learning environments*. Hershey : IGI Global, 2019. P. 89–108. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7823-9.CH005>

process itself. For the pre-service computer science teacher, this component includes the ability to see the structure of a joint task, distribute roles, plan stages of work, agree on deadlines, use digital coordination tools, monitor the team's progress and, when necessary, adjust the logic of joint activity. In essence, this concerns the project culture of team work. In modern digital education, it has particular importance, since many collective tasks take place under conditions of multi-channel communication, a combination of synchronous and asynchronous forms of participation, the accumulation of digital artefacts and the need to keep in view not only the content, but also the sequence of actions.

The organisational-project component is especially important for computer science education, where the logic of work is often structured, staged and algorithmic. The pre-service computer science teacher should be able to think about team activity not as a chaotic process, but as a process with defined stages, roles, points of agreement and criteria for the readiness of intermediate results. This brings team interaction closer to real professional situations in which the teacher acts not only as a communicator, but also as an organiser of activity. It is in the digital environment that this component becomes especially visible, since digital boards, trackers, calendars, shared tables and other coordination tools make it possible to record and analyse the team work process itself^{69,70}.

Despite this analytical distinction, the three components form an integrated system. The communication-facilitation component makes it possible to coordinate actions and supports the team's shared thinking. The cooperative-productive component gives interaction its substantive focus, that is, the result around which participants' efforts are united. The organisational-project component orders the process itself, makes it manageable and moves team activity into a more mature form. If one of these components is weakly developed, the overall quality of team interaction decreases. For example, active communication without a shared product may fail to turn into real team activity. The presence of a shared product without organisational coordination often leads to a chaotic combination of fragments. A formal project structure without meaningful communication and facilitation does not ensure real coordination among participants. Therefore, the structure of team interaction should be understood as an interdependent system of components.

⁶⁹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁷⁰ Rudenko Y., Zhurba K., Bekh I., Petrenko S., Bobokalo A., Semenikhina O. Using dashboards in the development of students' analytical thinking. *2025 48th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2025. P. 406–411. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131997>

From the standpoint of the professional training of pre-service computer science teachers, this structure has another advantage: it makes it possible to combine general pedagogical and subject-specific logic. On the one hand, communication, collaboration, coordination and joint result creation are universal features of team work. On the other hand, in computer science education these features take on a clear digital form and are connected with specific tools, types of activity and products. This means that the structure of team interaction is not an externally borrowed scheme, but directly corresponds to the specific features of the professional field of the pre-service computer science teacher.

It is also worth taking into account that the structure of team interaction has not only an operational, but also a value-based dimension. Each component involves a certain professional position. The communication-facilitation component is impossible without respect for other participants and readiness to listen and reach agreement. The cooperative-productive component requires acceptance of the logic of shared authorship and readiness to work for a common result, not only to demonstrate one's own contribution. The organisational-project component is based on responsibility, discipline, respect for agreements and an understanding of the importance of coordination for the quality of joint work. Thus, the structure of team interaction includes not only skills, but also a certain type of professional culture that should be formed in the future teacher.

This approach makes it possible to move from an abstract recognition of the importance of team interaction to its operationalisation. Once the structure of the phenomenon has been defined, it becomes possible to describe the criteria and indicators of its formation, and then to build a methodology for its purposeful development within a digital educational environment. For this reason, structural analysis in this section performs not only an explanatory, but also a design function. It creates the basis for the following subsections, where the assessment criteria, levels of formation and methodological principles for developing team interaction in pre-service computer science teachers will be considered.

Thus, the structure of team interaction in pre-service computer science teachers should be viewed as an integrated system of three interrelated components: communication-facilitation, cooperative-productive and organisational-project. This structure most fully reflects the logic of joint activity in a digital educational environment, corresponds to the specific features of computer science teacher education and creates a basis for further defining the criteria and indicators of formation of this professionally significant construct.

3.2.2. Criteria and Indicators of Team Interaction Formation in Pre-service computer science teachers

After clarifying the structure of team interaction, it is logical to move on to defining the criteria and indicators of its formation. This stage gives the theoretical analysis an applied meaning, as it allows a move from a general description of the phenomenon to its pedagogical operationalisation. If team interaction is considered an important component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers, then it should be not only conceptually justified, but also suitable for pedagogical observation, assessment and purposeful development. Without criteria and indicators, it remains more of a value-based guideline than a real educational aim.

In pedagogical research, a criterion is usually understood as a general feature on the basis of which it is possible to judge the state or level of formation of a certain quality, while indicators specify this feature through more observable manifestations. In the case of team interaction in pre-service computer science teachers, this distinction is especially important, as the phenomenon itself has a complex, multi-component character and combines communicative, activity-based, organisational and reflective dimensions. For this reason, the criteria should correspond to the structural components, while the indicators should reflect real actions that can be observed in a digital educational environment during joint activity.

Current research on digital pedagogical competence, collaboration and teacher professional development shows an important methodological point: the assessment of complex professional qualities cannot be based only on formal results or only on subjective self-assessment. A combination of different features is needed, reflecting both the content-related side of activity and its process organisation. Therefore, the criteria for the formation of team interaction should be based on the logic of real team work in a digital environment, where not only the final product is important, but also the way it is created, the nature of communication, the organisation of the process, and readiness to coordinate and adjust one's own actions^{71,72}.

Taking into account the structure of team interaction in pre-service computer science teachers, it is reasonable to distinguish three main criteria of its formation:

⁷¹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁷² Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

communication-facilitation, productive-cooperative and organisational-project. This grouping is methodologically justified because it reflects three basic dimensions of team work: maintaining meaningful interaction, creating a shared result and coordinating the process. Each of these criteria has its own set of indicators, but only together do they provide a sufficiently integrated view of the level of team interaction formation as a professionally significant characteristic of the pre-service computer science teacher.

The first criterion is communication-facilitation. It is distinguished because any team work begins with the establishment and maintenance of functional interaction among participants. In a digital environment, this aspect becomes especially important, as communication often takes place through different channels and requires conciseness, precision, timely responses and the ability to preserve the meaningful coherence of discussion. For the pre-service computer science teacher, this criterion reflects the degree of readiness for constructive digital interaction, the ability to support joint discussion, express ideas clearly and in a subject-related way, coordinate positions and create conditions for productive team work. The significance of this criterion is consistent with the findings of Lin et al.⁷³, who show that teachers' digital pedagogical competence is directly connected with their ability to organise collaboration, communication and the responsible use of technologies.

The indicators of the communication-facilitation criterion should include, first of all, the clarity and meaningfulness of statements in digital interaction. This refers to the ability to formulate messages so that they are understandable to other participants, do not create unnecessary uncertainty and support the progress of joint work. Another important indicator is the regularity and appropriateness of participation in discussion. Team interaction cannot be considered fully formed if a participant joins the joint work only occasionally or formally. The next indicator is the ability to ask clarifying questions, as such questions often signal active involvement in the logic of the shared task. No less important is the ability to provide constructive feedback, that is, not simply to assess or comment on the contribution of others, but to help improve the result without damaging the working atmosphere of the team. Another indicator is the ability to support other participants and help include those who are less active. Finally, an essential indicator is the capacity to keep discussion within the shared goal, that is, to perform at least a minimal facilitative function in the team process.

This approach makes it possible to see communication not as a background support for joint work, but as its active driving force. For the pre-service computer

⁷³ Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

science teacher, this is especially important because in their future professional activity they will need not only to take part in team work, but also to organise it for others. Thus, the communication-facilitation criterion reflects not only the current quality of interaction in a learning group, but also potential readiness for pedagogical management of such interaction in later professional practice.

The second criterion is productive-cooperative. Its significance is determined by the fact that team interaction gains professional meaning only when it is directed towards the creation of a shared result. Communication and coordination alone do not yet guarantee team work if participants are not working on a collective product that requires coordination, integration of contributions and shared responsibility for quality. For the pre-service computer science teacher, this criterion is especially important, as their professional activity is largely connected with the creation of digital, textual, visual, methodological and interactive products. For this reason, the ability to work in the mode of shared digital authorship should be considered an important sign of formed team interaction. In this respect, the productive nature of team activity corresponds to the findings of Brannan et al.⁷⁴, who stress that team learning becomes most effective when it is oriented towards collective problem-solving and the production of a unified result.

The indicators of the productive-cooperative criterion should include the degree of involvement in the joint creation of a product. This means not formal presence in a group, but a real contribution to the shared result. An important indicator is the coherence of one's own contribution with the general structure of the product. A participant may be active, but their work may not always be integrated into the logic of the team result. Therefore, participation should be considered productive when one's own actions are related to the task of the whole team. The next indicator is readiness for collaborative editing and revision. In a digital environment, this feature is seen in the extent to which a participant treats collective editing as a natural mechanism for improving the product, rather than as interference in an individual area of work. Another significant indicator is the ability to accept changes suggested by other participants and, when necessary, adjust one's own contribution. A further indicator is connected with the degree of coherence of the created product: the extent to which the result has a unified logic and is not a mechanical sum of disconnected fragments. Finally, the degree of responsibility for the quality of the common result is important, rather than responsibility only for one's own part of the work.

⁷⁴ Brannan L., Parrish C. W., Szatkowski H. D. Team-based learning. *Handbook of research on critical thinking strategies in pre-service learning environments*. Hershey : IGI Global, 2019. P. 89–108. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7823-9.CH005>

The productive-cooperative criterion is especially important for modernising the professional training of pre-service computer science teachers, as it makes it possible to connect the development of team interaction with the formation of professionally significant subject-related skills. In this case, team work is not separated from professional content, but is realised through it. The creation of a digital product becomes both a means of developing team interaction and a space in which the level of its formation is shown.

The third criterion is organisational-project. It is distinguished because team interaction in a digital educational environment requires not only communication and a shared product, but also the ordering of the activity process. In digital conditions, where different communication channels, forms of participation, time modes and types of tools are combined, the organisation of the process often determines the success of the whole team. For the pre-service computer science teacher, this criterion is extremely important, as it relates to their future ability to design joint activity, distribute roles, see the stages of work and use digital coordination tools. The significance of this criterion is also supported by studies of digital visualisations and analytical tools, which show that the structure and visibility of the process substantially strengthen the quality of team interaction^{75,76}.

The indicators of the organisational-project criterion should include the ability to see the overall structure of a team task. This is shown in understanding which stages the work consists of, which actions are sequential, which can be carried out in parallel and which require prior coordination. An important indicator is readiness to participate in role distribution and to take on defined functions. The ability to meet agreed deadlines and follow the temporal logic of joint activity should also be included. In a digital environment, this is especially significant because joint work often takes place beyond a single synchronous class and requires the maintenance of pace. The next indicator is the use of digital coordination tools: boards, trackers, tables, planners and shared structured documents. This is not simply about technical use of these tools, but about the ability to apply them to organise the team's work. Another significant indicator is the ability to identify organisational difficulties and suggest ways to overcome them. Finally, an important feature is the ability to maintain the

⁷⁵ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁷⁶ Rudenko Y., Zhurba K., Bekh I., Petrenko S., Bobokalo A., Semenikhina O. Using dashboards in the development of students' analytical thinking. *2025 48th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2025. P. 406–411. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131997>

integrity of the process, that is, not to lose sight of the general logic of team activity even when tasks change or roles are redistributed.

The organisational-project criterion is also important because it brings team interaction closer to the logic of real professional activity. In future pedagogical practice, the computer science teacher will not only work in a team, but will often organise the joint activity of others. Therefore, the ability to see the process as a whole, understand the role of coordination tools, manage stages and maintain the structured nature of work is no less important than the ability to communicate well or complete one's own part of the task effectively.

It should be emphasised that each criterion has diagnostic value only in connection with the others. High communicative activity without a real contribution to the shared product does not allow us to speak of formed team interaction. Similarly, a high-quality individual contribution without readiness for coordination and collaborative editing does not yet mean mature cooperation. In the same way, meeting formal deadlines and using coordination tools do not show a high quality of team work if meaningful interaction and shared responsibility for the result are absent. For this reason, assessment of the formation of team interaction should be complex and based on a set of criteria, rather than on separate isolated features.

From a methodological point of view, defining criteria and indicators has another important function. It makes it possible to move towards the development of tools for pedagogical diagnosis. Self-assessment, structured observation, analysis of digital artefacts, study of revision history, interpretation of comments, analysis of the logic of the shared product or the use of visual coordination tools become meaningful only when it is clear in advance which features the researcher or teacher is looking for. In this sense, criteria and indicators are a kind of bridge between the theoretical model and the real educational process. They make it possible to transform team interaction from a general concept into a phenomenon that can be pedagogically observed, analysed and developed.

Thus, the formation of team interaction in pre-service computer science teachers should be assessed according to three interrelated criteria: communication-facilitation, productive-cooperative and organisational-project. The first reflects the quality of meaningful digital communication and the ability to support the group process. The second characterises the level of participation in the joint creation of a result and readiness for collective authorship. The third reveals the ability to order, coordinate and organise team activity as a project. The set of corresponding indicators creates a basis for further defining the levels of team interaction formation, which is the next logical step in the development of this section.

3.2.3. Levels of Team Interaction Formation in Pre-service computer science teachers

After defining the structure of team interaction and justifying the criteria and indicators of its formation, it is logical to move on to describing the levels of development of this professionally significant construct. The level-based approach makes it possible to view team interaction not as a quality that is either present or absent, but as one that develops gradually, passes through certain stages of formation and can become the object of purposeful pedagogical influence. For the professional training of pre-service computer science teachers, this is especially important, since team interaction in a digital educational environment does not arise automatically as a result of group tasks or the use of digital platforms. It requires specially organised experience, reflection, correction and a gradual transition from elementary forms of involvement to more mature, independent and project-structured participation in joint activity.

The level-based description of team interaction formation should rely on the previously defined criteria: communication-facilitation, productive-cooperative and organisational-project. At the same time, it is reasonable to take into account that the development of team interaction does not always proceed in strict synchrony across all these dimensions. In the practice of professional training, there may be situations where a learner shows a relatively good level of digital communication, but is not yet ready for full collective authorship or is not confident enough in organising the team work process. For this reason, the levels of formation should be understood as generalised types of team interaction manifestation, within which some internal unevenness in the development of separate components is possible. However, for pedagogical analysis, it is important to outline the dominant features that make it possible to identify the prevailing level.

Within this study, it is reasonable to distinguish three levels of team interaction formation in pre-service computer science teachers: low, medium and high. This gradation is methodologically justified because, on the one hand, it clearly differentiates the degrees of formation and, on the other hand, does not create excessive fragmentation that would complicate further diagnosis. It is also consistent with the logic of pedagogical observation, where it is important to record not minor differences between similar states, but the qualitative nature of a learner's participation in team work. In addition, the three-level model is sufficiently convenient for describing the dynamics of change during formative influence.

The low level of team interaction formation is characterised primarily by fragmented participation in joint activity. At this level, the pre-service computer

science teacher usually does not show stable readiness to work according to the logic of a team. Their participation in digital interaction is situational or mainly reactive. Communication is often limited to short answers, formal remarks or occasional involvement in discussion without a noticeable influence on the progress of joint work. Such a learner rarely initiates clarification, does not always respond to comments in time, does not show sufficient sensitivity to the needs of other participants and usually does not perform even minimal facilitative functions. In a digital environment, this may be seen in passive observation of the work of others, weak involvement in discussion or participation that is reduced to separate technical actions without deeper content-related engagement.

In the productive-cooperative dimension, the low level is shown in the fact that the participant mainly perceives the shared task as a set of separate individual assignments. Their contribution to the product may be present, but it is not always related to the general logic of the team result. There is often an orientation towards completing only one's own minimum part, without awareness of the need to improve the shared result. The mode of collective editing or shared digital authorship may cause difficulties, discomfort or a hidden tendency to isolate one's own part of the work. Such a learner is reluctant to accept revisions, rarely initiates improvements to the common product and is not always able to see that the team result should be coherent rather than mechanically assembled from disconnected fragments.

In the organisational-project aspect, the low level is expressed in an insufficient ability to see the structure of the team task and to orient oneself in the logic of the shared process. The pre-service computer science teacher may follow separate instructions, but usually does not show enough initiative in planning, does not actively participate in role distribution and does not use digital coordination tools as means of organising work. They may find it difficult to relate their own actions to the stages of the shared process, to meet agreed deadlines or to respond to organisational changes. As a result, their participation often remains dependent on external guidance, while team interaction itself is perceived as something external to the main content of the work.

Thus, the low level of team interaction formation reflects a state in which the pre-service computer science teacher has not yet moved from an individualised model of activity to the real logic of team work. They may use digital tools, complete separate tasks and even participate in group activity, but their participation does not acquire the features of stable, meaningful, responsible and well-organised interaction. For pedagogical training, this means the need for purposeful support, the creation of safe conditions for entering team work and the gradual complication of forms of joint activity.

The medium level of team interaction formation reflects a transitional state in which the pre-service computer science teacher already shows basic readiness to work in a team, but this readiness is not yet fully stable, independent and internally organised. In the communication-facilitation aspect, this is shown through more regular participation in digital discussion, the ability to maintain contact with other participants, provide some meaningful comments, respond to clarifications and become involved in collective work in a more timely way. However, communication at this level does not always perform the function of supporting the process itself. The pre-service computer science teacher may express their own ideas effectively, but may not always know how to help the team overcome misunderstanding, structure discussion or systematically support less active participants. The facilitative component is still developing and is often realised episodically rather than consciously.

In the productive-cooperative dimension, the medium level is characterised by real participation in the creation of a shared result. The learner is no longer limited to formally completing a separate fragment, but to some extent relates their own contribution to the general logic of the product. They are able to work in a mode of collaborative editing, accept some revisions and improve material with regard to team needs. At the same time, such cooperation is not always fully mature. There may still be a tendency to overestimate one's own part of the work, insufficient attention to the coherence of the product or selective readiness to accept changes initiated by others. At this level, there is already an understanding of the value of a shared result, but it does not always become a stable practice of collective digital authorship.

In the organisational-project aspect, the medium level means that the pre-service computer science teacher begins to understand the stages of joint activity, can work according to a previously defined plan, follow a role and deadlines, and use digital coordination tools if the logic of their use has already been set by the teacher or the group. They are able to see the general structure of the task, but do not always initiate its clarification or correction. Their participation in coordination is more executive than organisational. Such a learner can already work in a structured digital environment quite productively, but does not yet fully show the ability to independently support the team process or restructure it in response to difficulties.

The medium level is especially important for pedagogical analysis because it is here that the potential for further development becomes most visible. At this stage, team interaction ceases to be an external requirement for the pre-service computer science teacher. It begins to be perceived as a natural way of achieving a result in a digital environment. At the same time, moving to a high level requires specially organised conditions that support the development of

project independence, facilitative sensitivity, mature shared authorship and responsibility not only for one's own actions, but also for the logic of team work as a whole.

The high level of team interaction formation describes a state in which the pre-service computer science teacher demonstrates stable, conscious and professionally productive readiness for team activity in a digital educational environment. In the communication-facilitation dimension, this is shown in meaningful, timely, constructive and functionally appropriate participation in discussion. Such a learner not only expresses ideas clearly and provides reasoned feedback, but also supports the interaction process itself. They are able to notice communication gaps, help include other participants, support the team in keeping focus on the shared goal, clarify ambiguous decisions and gently facilitate discussion. In a digital environment, this is seen not simply in activity, but in productive communicative presence that really helps the team work better.

In the productive-cooperative aspect, the high level means mature readiness for the joint creation of a digital product. At this level, the pre-service computer science teacher understands the result as collective, not as individually divided. They can integrate their own contribution into the overall structure, suggest changes that improve the coherent product, work in a mode of collective editing without losing responsibility for quality, accept revisions and use them to improve the shared result. For them, shared authorship is not a compromise, but a natural form of professional activity. In a product created with their participation, one can see not a mechanical combination of parts, but real coordination, structure and coherence. This level corresponds most closely to the modern logic of the professional activity of a computer science teacher, who must be able to work in a shared digital space on different types of educational solutions.

In the organisational-project dimension, the high level is shown in the ability to independently see the logic of a shared task, plan stages of work, take part in role distribution, suggest ways of coordination, use digital tools for visualising and managing the process, and adjust the team's activity in response to new circumstances. At this level, the pre-service computer science teacher does not simply follow instructions, but understands team work as an integrated process. They are able to combine attention to the content of the product with attention to the organisation of activity, see the link between the quality of coordination and the quality of the result, maintain the rhythm of joint work and focus not only on completing their own part, but on the success of the team as a whole. This level most clearly indicates readiness for further professional activity in digitally organised education, where the teacher must not only work in a team, but often also be one of those who supports this team work.

The high level of team interaction formation has one more important feature: it combines activity-based capacity with a professional position. Such a pre-service computer science teacher is not only technically able to work with others, but also values team work as a resource for pedagogical quality. They recognise the importance of coordination, shared responsibility, openness to editing, digital ethics and process organisation. This means that, at a high level, team interaction becomes part of professional culture, not only a set of separate skills. It is this integration of the activity-based and value-related dimensions that indicates the maturity of this construct.

The described levels make it possible to see the dynamics of team interaction formation as a gradual transition from fragmented, externally guided and mainly individualised participation to independent, meaningful, responsible and project-structured team work. In the professional training of pre-service computer science teachers, this logic is especially valuable, as it allows not only the current state to be identified, but also the pedagogical conditions for its change to be designed. If the low level mainly requires involvement in the experience of basic interaction, the medium level requires strengthening cooperation, facilitation and responsibility for the shared product, while the high level involves consolidating team interaction as a stable professional way of acting.

The level-based approach also has methodological significance for the further formative stage of the study. It makes it possible to trace positive dynamics of change, identify the components most sensitive to pedagogical influence and specify which pedagogical conditions support the transition from one level to another. In this sense, the levels of formation perform not only a descriptive, but also a predictive function. They make it possible to build the logic of the methodology, select appropriate observation tools and interpret the results of pilot testing not fragmentarily, but within the general dynamics of team interaction development.

Thus, the formation of team interaction in pre-service computer science teachers should be considered through three levels: low, medium and high. The low level reflects mainly fragmented, reactive and weakly organised participation in team work. The medium level characterises basic readiness for interaction, joint product creation and work in a structured digital environment, but still without full independence and maturity. The high level is expressed in a stable capacity for meaningful, responsible, facilitation-sensitive, cooperatively productive and project-organised team activity. This level-based model creates a basis for the further transition to describing the diagnostic tools and the methodology for developing team interaction in pre-service computer science teachers within a digital educational environment.

3.3. Methodology for Developing Team Interaction in Pre-service computer science teachers in a Digital Educational Environment

The justification of the structure of team interaction and the definition of its criteria, indicators and levels of formation create the basis for the next logical step, namely the development of a methodology for its purposeful formation. At this stage, the theoretical model gains a practical dimension. If, in the previous subsections, team interaction was considered as a professionally significant characteristic of the pre-service computer science teacher, it is now necessary to show how this quality can be developed within the real educational process, which pedagogical means support its formation, and how the digital educational environment should be organised so that it functions not only as an instrumental base, but also as a space for professional growth.

Current research in digital pedagogy and teacher professional development consistently stresses that complex professional qualities are not formed through one-off instruction or simple familiarisation with digital services. The approaches that prove effective are those which combine practical activity, collaborative formats, methodological support, gradual complication of tasks and reflection on one's own experience^{77,78}. For the training of pre-service computer science teachers, this conclusion is of fundamental importance. Team interaction cannot be formed only by explaining its importance or by mechanically including learners in group work. It requires such an organisation of the educational process in which joint activity becomes functionally necessary, professionally significant, digitally mediated and pedagogically meaningful.

The methodology for developing team interaction in pre-service computer science teachers should be based on several initial provisions. First, team interaction is considered as an integrated construct that includes communication-facilitation, cooperative-productive and organisational-project components. Therefore, the methodology cannot focus only on developing separate communication skills or only on completing joint tasks. It must cover different aspects of team work. Second, the formation of this quality should take place not outside professional content, but through it. For the pre-service computer science teacher, this means that team interaction should be developed through professionally relevant tasks connected with the creation of digital educational products, the design of learning fragments, the use of visualisation, digital boards, shared documents and coordination services. Third, the methodology

⁷⁷ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

⁷⁸ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

should be organised so that the digital environment performs not an auxiliary, but a structuring function, that is, it determines the way in which learners participate in team activity.

In line with these provisions, the methodology for developing team interaction can be defined as an integrated system of pedagogically organised actions aimed at developing the pre-service computer science teacher's capacity for meaningful digital communication, joint creation of an educational product, coordination of the team process and reflective understanding of joint activity. In this sense, the methodology is not reduced to a set of exercises or a sequence of classes. It includes the aim, principles, content, forms of organisation, digital tools, pedagogical conditions, the logic of activity development and ways of assessing the changes that take place during training.

The aim of the methodology is to develop team interaction in pre-service computer science teachers as a component of their modernised professional training within a digital educational environment. This aim can be specified through several interrelated tasks. The first task is to develop the capacity for constructive digital communication, including the ability to express ideas, support discussion, provide feedback, clarify decisions and perform elements of facilitation. The second task concerns the formation of readiness for the collective creation of a digital educational product, that is, for work in the mode of shared authorship, editing, revision and coordination of the result. The third task is connected with the development of organisational-project skills, including role distribution, planning of stages, use of digital coordination tools and support for the coherence of joint work. The fourth task is to form a reflective attitude towards team activity, when the pre-service computer science teacher begins to understand not only the content of the product, but also the ways of working together, the difficulties of interaction and their own role in the team process.

The methodology is based on a number of principles that define its internal logic. First of all, the principle of professional relevance should be noted. Its essence is that team interaction is developed through tasks that are directly related to the future work of the computer science teacher. These may include developing a fragment of a digital lesson, creating an interactive exercise, preparing a shared visual model, constructing a learning case, creating digital instructions or jointly designing resources for blended learning. As a result, team work is not perceived as an artificially imposed activity, but gains professional meaning. This approach is consistent with current views on effective digital teacher training, which should not be abstract, but embedded in real pedagogical practices⁷⁹.

⁷⁹ Abildinova G., Abykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1473766>

The second important principle is the principle of activity-based conditioning. Team interaction is not formed through passive acquisition of knowledge about collaboration. It appears and develops in activity that requires coordination of actions, integration of contributions, joint search for a solution and collective responsibility for the result. For this reason, the methodology should be built around actions, not around information about them. For the pre-service computer science teacher, this means the need to work on tasks that cannot be fully completed in a purely individual mode. The activity-based nature of the methodology is also connected with the fact that, in a digital environment, the learner should not only know how collaboration is organised, but should also actually act according to the logic of such collaboration.

The third principle is gradual complication. Team interaction does not appear at once in a fully mature form. It develops from basic involvement in digital communication to more complex forms of coordination, shared authorship and project organisation of the team process. Therefore, the methodology should provide a gradual transition from relatively simple types of interaction to more complex ones. At the initial stages, these may be tasks that require short discussion, joint clarification or collective structuring of ideas. Later, it is appropriate to move to the joint creation of a digital product, and then to tasks that already require clear role organisation, distribution of functions, coordination of stages and visualisation of the work process. Such gradual development ensures not only increased complexity, but also a lower risk of formal completion of group tasks.

The fourth principle is the functional organisation of the digital environment. For the development of team interaction, what matters is not the set of digital tools itself, but the carefully planned logic of their use. The pre-service computer science teacher should work in an environment where synchronous communication, asynchronous coordination, collaborative editing, process visualisation and coordination of actions are organised not chaotically, but as interconnected parts of a single working space. This is consistent with the view that the quality of the digital educational environment is determined by its systemic character and pedagogical appropriateness, not simply by the presence of technical resources⁸⁰. In methodological terms, this principle means that each digital tool should perform a clearly defined function in team work.

The fifth principle is reflective support. Team interaction becomes a stable professional quality only when participants do not simply complete a joint task, but understand how they interacted, what helped or hindered the achievement

⁸⁰ Шамо́ня В. Г., Хворості́на Ю. В., Юрче́нко А. О., Семені́хіна О. В. Використання засобів комп'ютерної візуалізації в освіті: узагальнення наявних практик. *Педагогічна Академія: наукові записки*, 2026. Вип. 28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19645296>

of the result, how roles were distributed, what the logic of communication was and what value the shared product has. In a digital educational environment, reflection has especially favourable conditions, since revision histories, comments, visual boards, digital traces of activity and the structure of the created result can be used as material for analysis. This is consistent with current approaches to understanding team work through the analysis of digital artefacts and analytical tools⁸¹.

The logic of the methodology involves several consecutive stages. At the first, motivational-orientation stage, it is important to develop in pre-service computer science teachers an understanding that team interaction is not a secondary social skill, but part of the structure of modern professional readiness. At this stage, it is useful to actualise experience of joint activity, identify initial views of team work, show its connection with the digital transformation of education and with the professional role of the computer science teacher. At the same time, learners make their first entry into the digital environment of the methodology: the rules of work, the logic of using tools, norms of communication and principles of interaction are clarified.

The second stage can be defined as operational-communication. Its main task is to develop basic ways of digital team interaction. At this stage, special attention is paid to meaningful communication, clarification of tasks, support for digital discussion, mutual commenting and the development of a habit of joint consideration of a problem. The tasks should be relatively compact, but should require real coordination. For example, they may include collectively defining the structure of a future digital product, agreeing on criteria for its quality, jointly presenting an idea visually or creating a concept map on a particular computer science topic. It is at this stage that the basis of the communication-facilitation component is formed.

The third stage is cooperative-productive. Its content lies in the transition from discussion to the joint creation of a digital product. At this stage, pre-service computer science teachers work in collaborative editing environments, collectively develop materials, agree on the format, structure and content of the result, accept revisions and learn to relate their own contribution to the logic of the overall product. It is important that the product is professionally significant. These may be learning materials, digital exercises, lesson scenarios, elements of a distance course, visual instructions or interactive mini-projects.

⁸¹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

This stage most intensively develops the cooperative-productive component of team interaction.

The fourth stage should be defined as organisational-project. Here, team work gains a higher level of structure. Participants not only create a shared product, but also plan stages, distribute roles, use digital boards, calendars, trackers or other coordination tools, monitor progress and adjust their own actions. At this stage, the importance of the organisational-project component increases. The pre-service computer science teacher begins to understand team activity as a managed process, rather than as a spontaneous combination of individual efforts. It is within this stage that team interaction comes closest to the logic of the future professional activity of the teacher, who must organise the joint digital work of others.

The fifth stage is reflective-generalising. Its purpose is to analyse the acquired experience, understand changes, relate one's own participation to the criteria of team interaction and identify individual development dynamics. At this stage, self-assessment, discussion of difficulties, analysis of digital artefacts, examination of revision history and discussion of the logic of the team process are used. It is here that team interaction moves from the level of a completed action to the level of a conscious professional quality. For the pre-service computer science teacher, this has particular value, as they not only experience collaboration, but also begin to see how such experience can later be organised pedagogically in work with learners.

In formative terms, the methodology is implemented through a series of digitally organised training sessions. The training format is justified because it allows attention to be focused not so much on the transmission of knowledge as on the development of ways of acting. In the study, this format was connected with three weekly training sessions based on the use of video communication, messengers, shared documents and digital boards. Such organisation is not accidental. It makes it possible to combine synchronous discussion with asynchronous revision, textual interaction with visualisation, collaborative editing with project coordination. Thus, each tool within the methodology performs not only a technical, but also a pedagogically defined function.

Video conferencing services provide a space for synchronous interaction, rapid coordination of positions and facilitation of the group process. Messengers support short asynchronous communication, clarification of details, reminders and current coordination. Shared documents create conditions for the collective development of a textual or structured product and make it possible to work through commenting, mutual editing and revision. Digital boards perform the function of visualising ideas, planning stages, recording roles, structuring content and coordinating the process. Together, these tools create a functionally

rich digital environment in which team interaction gains concrete, observable and pedagogically manageable forms^{82,83}.

The effectiveness of the methodology is also ensured by a system of pedagogical conditions. First of all, this concerns the professional relevance of tasks. Team interaction is formed much more deeply when learners work on something directly related to their future pedagogical activity. The second condition is the functional organisation of the digital environment, where tools do not duplicate one another chaotically, but form a working system. The third condition is a supportive atmosphere of interaction, in which digital editing, commenting and correction are perceived not as a threat to individual contribution, but as a natural part of joint work. The fourth condition is reflective support, which allows participants to understand the logic of their own interaction. The fifth condition is the gradual complication of tasks, through which team interaction moves from basic forms of communication to more mature forms of shared authorship and project coordination.

An important feature of the methodology is that it is oriented not towards a one-time result, but towards development dynamics. This means that assessment concerns not only the successful completion of a specific task, but also changes in the learner's way of participating in team work. The focus is on whether the learner has begun to communicate more actively, coordinate their own contribution with the contributions of others more effectively, use coordination tools more consciously, and show greater readiness for collaborative editing and reflection. This logic makes it possible to view the methodology as a tool of professional growth, not only as a form of organising a class.

Thus, the methodology for developing team interaction in pre-service computer science teachers in a digital educational environment is an integrated system that combines professionally relevant content, an activity-based foundation, staged organisation, a functionally organised digital environment, a training format, reflective support and an orientation towards development dynamics. Its main feature is that digital tools are used not as an external technological resource, but as a means of the pre-service computer science teacher's real entry into the practice of team-based professional

⁸² Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁸³ Rudenko Y., Ahadzhanov-Honsales K., Ahadzhanova S., Batalova A., Diemientiev Y., Semenikhina O. Interactive boards as digital tools in the modern educational process. *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2024. P. 329–333. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569393>

activity. As a result, team interaction acquires the features not of accidental group activity, but of a purposefully formed component of modernised professional training.

3.4. Organisation of the Pilot Study and Testing the Effectiveness of the Methodology for Developing Team Interaction in Pre-service computer science teachers

The development of a methodology for forming team interaction in pre-service computer science teachers within a digital educational environment required not only theoretical justification, but also an initial empirical check of its practical viability. For this reason, a pilot stage was included in the structure of the study. Its aim was to identify the initial sensitivity of the proposed methodology to changes in the levels of team interaction formation and to check whether the diagnostic tools were suitable for recording such changes. The pilot study does not claim to provide exhaustive statistical proof of effectiveness in all possible conditions. However, it makes it possible to assess the direction of change, clarify the most sensitive components and confirm the methodological appropriateness of the chosen approach.

The empirical base of the pilot study consisted of the results of 26 participants. Indicators were recorded in three areas: digital communication and facilitation, joint content creation, and team project management. For each area, two measurements were carried out: before the implementation of the experimental programme and after its completion. Assessment was conducted on a 4-point scale, where 1 point corresponded to the initial level, 2 points to the basic level, 3 points to the advanced level, and 4 points to the expert level. This scale is suitable for the pilot stage, as it allows a qualitative description of levels to be combined with a quantitative presentation of dynamics. At the same time, because the scale is ordinal, statistical analysis should rely not only on mean values, but also on medians and non-parametric tests.

The assessment was based on a mixed approach. Three data sources were combined: self-assessment, a practical task followed by observation of team work in a digital environment, and analysis of digital artefacts. This structure is consistent with current views on the diagnosis of complex professional qualities, for which neither subjective survey data alone nor external observation alone is sufficient. Self-assessment made it possible to record participants' individual views of their own abilities in digital team work. The practical task in microgroups created conditions for the real manifestation of team interaction. The analysis of artefacts, version histories, chats and the structure of coordination tools made it possible to see the actual nature of interaction, not only declared intentions. This approach is consistent with the view that

assessment of collaboration in a digital environment should take into account both the process and the result of team activity⁸⁴.

Procedurally, the pilot study was organised as a short formative cycle that combined pre-measurement, participation in a series of digitally organised training sessions and repeated assessment after the programme had been completed. The content of the activity was connected with the joint development of educational materials and the planning of a team product in a digital environment. Participants worked in microgroups, using synchronous communication services, shared documents and coordination tools. Such organisation followed the logic of the proposed methodology, according to which team interaction is developed not through information about team work, but through direct experience of such work in the digital space^{85,86}.

For the initial description of the empirical data, means, standard deviations, medians and the proportions of participants who showed growth in indicators were calculated. The analysis showed that, in all three competence areas, after the completion of the programme there was a clear shift in results towards higher levels. In the area of “Communication”, the mean score increased from 2.04 to 3.12 points, that is, by an average of 1.08 points. The median changed from 2 to 3 points. Before the programme, 6 participants were at level 1, 13 at level 2 and 7 at level 3. After the programme, the distribution changed as follows: 5 participants were at level 2, 13 at level 3 and 8 at level 4. This means that, in the communication dimension, there was not merely a slight increase in separate individual scores, but a shift of the whole group from initial-basic manifestations to basic-advanced and advanced-expert ones. Improvement in this indicator was recorded in 24 of the 26 participants, that is, in 92.3%, while in 2 cases the result remained unchanged. No decrease was found.

In the area of “Joint Content Creation”, substantial positive dynamics were also recorded. The mean score increased from 1.77 to 2.85 points, also by 1.08 points. The median changed from 2 to 3 points. Before the formative influence, the initial and basic levels prevailed in the sample: 9 participants had 1 point, 14 had 2 points and only 3 had 3 points. After the programme, the distribution

⁸⁴ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁸⁵ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

⁸⁶ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

became different: 9 participants had 2 points, 12 had 3 points and 5 had 4 points. Thus, the most noticeable change is the disappearance of the initial level and a shift of the centre of the distribution into the advanced level zone. Improvement in this indicator occurred in 24 out of 26 participants, while the value remained unchanged for 2 participants. No deterioration was recorded. In pedagogical terms, this gives grounds to state that work in the mode of shared digital authorship, commenting, coordination of changes and product revision was indeed sensitive to specially organised methodological influence.

The most noticeable dynamics were found in the area of “Project Management”. The mean score increased from 1.77 to 3.04, that is, by 1.27 points, which was the largest increase among the three components studied. The median also changed from 2 to 3 points. Before the experimental programme, 8 participants were at level 1, 16 at level 2 and only 2 at level 3. After the programme, 4 participants were at level 2, 17 at level 3 and 5 at level 4. Thus, here too there was a complete disappearance of the initial level and a shift of the majority of the group to the advanced level. Particularly indicative is the fact that improvement in this competence was recorded in all 26 participants, that is, in 100% of the sample. In pedagogical terms, this is an important result, since the organisational-project component usually requires longer formation than basic digital communication. In this case, even a short pilot cycle showed its high sensitivity to specially organised work with digital boards, task structure, deadlines and role distribution.

The total score, which reflects the integral level of development of the skills studied, was analysed separately. The maximum possible score across the three competences was 12 points. The mean total score increased from 5.58 to 9.00, that is, by 3.42 points. The median changed from 6 to 9 points. An increase in the total result occurred in all 26 participants without exception. Such consistent positive dynamics across all participants indicate that the methodology influenced not only separate isolated actions, but the whole way of participating in digital team work. This is especially important for the professional training of pre-service computer science teachers, where team interaction should be considered as an integrated construct rather than as a set of weakly connected skills.

The Wilcoxon signed-rank test was used to check the statistical significance of the changes. The choice of this test was determined by three circumstances. First, the study involved paired measurements carried out on the same participants before and after the formative influence. Second, the assessment scale was ordinal, not interval. Third, the sample size was relatively small, which also makes non-parametric approaches more appropriate. The obtained results showed statistically significant changes in all three competence areas.

For digital communication and facilitation, the Wilcoxon test gave a value of $p < .001$. Similarly, for joint content creation, $p < .001$ was also recorded. For project management, the changes were also statistically significant at $p < .001$. The integral total score also demonstrated statistically significant positive dynamics at $p < .001$. This makes it possible to state that the identified shifts are unlikely to be random and have a systemic character.

From the point of view of interpreting the results, several important points should be emphasised. First, the positive dynamics in all three areas confirm the practical viability of the proposed methodology. Second, the largest mean increase was recorded in the organisational-project component. This gives grounds to assume that those elements of the methodology which are connected with a clear task structure, process visualisation, role distribution and the use of coordination tools have the most pronounced formative potential. Third, the growth in joint content creation shows that collective digital authorship and work in an open editing mode are not only possible in the training of pre-service computer science teachers, but can also develop quite quickly under conditions of pedagogically well-designed support. Fourth, the improvement in the communication component indicates that digital interaction in a team becomes more constructive, meaningful and facilitation-sensitive even within a short pilot period. This is consistent with studies that stress the importance of active collaborative formats and pedagogical support for developing professional interaction in a digital environment^{87,88}.

At the same time, the results of the pilot study should be interpreted with regard to its format. First, the sample was relatively small, which is typical of a pilot stage, but does not allow broad generalisations. Second, the study did not include a control group, and therefore its conclusions mainly concern internal positive dynamics within the selected group. Third, although the assessment scale is sufficiently convenient for recording levels, it is broad and does not reveal more subtle differences between close states of development. However, even taking these limitations into account, the obtained results have important methodological value. They confirm that team interaction in pre-service computer science teachers is a pedagogically manageable quality, and that its development in a digital educational environment can be quite effective even through a short but coherently organised influence.

⁸⁷ Abildinova G., Abykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

⁸⁸ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

Hus, the pilot study showed positive and statistically significant dynamics in the development of digital team work skills across all three studied areas: digital communication and facilitation, joint content creation and team project management. The most pronounced shifts were found in the organisational-project component, which further confirms the importance of project-structured organisation of joint activity in a digital environment. In general, the obtained empirical data allow the proposed methodology to be considered a promising basis for further, broader research and for practical implementation in the system of modernising the professional training of pre-service computer science teachers.

4. Discussion

The results obtained provide grounds for considering team interaction as a component of the professional training of pre-service computer science teachers that is sensitive to pedagogical influence. First of all, it is important that positive dynamics were recorded in all three areas studied: digital communication and facilitation, joint content creation and team project management. This consistency of changes is substantively important, as it points not to a random improvement in separate skills, but to a broader shift in the way learners participate in digitally mediated team activity. In other words, the proposed methodology influenced not only separate instrumental actions, but also the very logic of team work. This is especially significant for the training of pre-service computer science teachers, where professional readiness can be described less and less through an isolated set of digital skills and is increasingly connected with the ability to act in a shared digital space^{89,90}.

It is noteworthy that the greatest increase was found in team project management. This result does not seem accidental. In the developed methodology, the organisational-project component was most closely connected with clear, visible and manageable elements of the digital environment: role distribution, deadlines, task structure, the use of digital boards, shared documents and coordination tools. While communication and joint product creation may partly develop through almost any group activity, the organisation of joint work usually requires clearer external structuring. For this reason, even a short but well-structured intervention could produce a particularly visible effect here. In

⁸⁹ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁹⁰ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

pedagogical terms, this means that, for the development of team interaction in pre-service computer science teachers, the project-based organisation of the environment has not an auxiliary, but a defining role. This conclusion is consistent with findings on the role of digital visualisation, analytical tools and coordination tools in supporting joint activity and understanding its process^{91,92}.

The growth in indicators related to joint content creation is also important. It gives grounds to state that the mode of collective digital authorship was not only technically accessible to participants, but also pedagogically productive. In this respect, the results are especially significant, since joint creation of a digital product is one of the most professionally relevant forms of activity for the pre-service computer science teacher. This is not simply about the ability to work with a document or a service, but about the ability to integrate one's own contribution into the general structure, accept revisions, improve material according to the team goal and understand the result as shared. The positive dynamics in this area show that involving learners in tasks focused on the collective creation of a product may be one of the most effective mechanisms for developing team interaction. At the same time, this result also has broader significance: it confirms that the digital environment can support not only the exchange of messages or coordination, but also genuinely cooperative and productive activity. This interpretation is broadly consistent with conclusions on the effectiveness of team-oriented learning, where the joint production of a solution and responsibility for the collective result form the core of the learning process⁹³.

The changes in digital communication also deserve separate attention. Although the mean increase here did not exceed the increase in joint content creation, it is substantively important because it concerns the dimension that often remains less visible in quantitative analysis but is fundamental to all team work. Team interaction cannot be productive if its participants are unable to communicate meaningfully, support discussion, clarify tasks, give constructive feedback and gently facilitate the joint process. The fact that, after the programme, the group shifted towards higher levels in the communication

⁹¹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

⁹² Rudenko Y., Zhurba K., Bekh I., Petrenko S., Bobokalo A., Semenikhina O. Using dashboards in the development of students' analytical thinking. *2025 48th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2025. P. 406–411. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131997>

⁹³ Brannan L., Parrish C. W., Szatkowski H. D. Team-based learning. *Handbook of research on critical thinking strategies in pre-service learning environments*. Hershey : IGI Global, 2019. P. 89–108. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7823-9.CH005>

dimension shows that digital communication within specially organised activity can become more meaningful, less situational and more oriented towards a shared solution. For the training of pre-service computer science teachers, this is especially important, since in their professional activity communication is connected not only with personal participation in a team, but also with the future role of organising and facilitating learners' interaction. This interpretation is consistent with the conclusion that digital pedagogical competence directly mediates the teacher's ability to support collaboration, communication and the responsible use of technologies⁹⁴.

The consistency of positive dynamics across all three areas provides the basis for an important methodological conclusion: team interaction in a digital educational environment should not be developed through the isolated training of separate skills. A more effective organisation of training is one in which communication, joint product creation and process coordination unfold at the same time as different aspects of one activity. This integration was probably one of the factors behind the positive dynamics. If the programme had been built only around training in digital services or only around practising communication skills, its impact would probably have been narrower. In this case, the methodology combined different modes of participation and thus reproduced more realistic conditions of the future professional activity of a computer science teacher. This gives grounds to speak of the pedagogical appropriateness of a comprehensive approach. This conclusion corresponds to studies that stress the effectiveness of practice-oriented, collaborative and stage-based forms of digital teacher training^{95,96}.

Overall, the results obtained are consistent with current research discourse, according to which a teacher's digital competence cannot be reduced to instrumental mastery of technologies. It includes collaboration, communication, content creation, professional development and the organisation of interaction. In this sense, the results of the pilot study support the theoretical assumption that team interaction is not peripheral, but internally connected with the digital pedagogical competence of the pre-service computer science teacher. At the same time, the study specifies this position,

⁹⁴ Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>

⁹⁵ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

⁹⁶ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

as it shows that such interaction can not only be recognised conceptually, but also operationalised through a structure of components, criteria, levels and a development methodology^{97,98}.

The relationship between the obtained results and studies that stress the effectiveness of active, collaborative and practice-oriented formats of teacher professional training is also important. The positive dynamics in the pilot study support the conclusion that specially organised activity in a digital environment, supplemented by a clear structure, a shared task and reflective support, is more productive than simple familiarisation with tools. This is especially visible in the organisational-project component: it is the least likely to develop spontaneously and, at the same time, develops most clearly under conditions where participants are involved in real joint work with a visible structure and distribution of responsibility. Thus, the results support the need to shift the focus in the professional training of pre-service computer science teachers from instructive-demonstrative models to activity-based and collaborative ones^{99,100}.

At the same time, the obtained results allow certain interpretive assumptions to be made. In particular, it may be assumed that the different strength of dynamics across the separate areas is connected not only with the features of the methodology itself, but also with the nature of the corresponding skills. Communication skills partly begin to develop before a specially organised intervention, since learners already have some experience of taking part in digital communication. By contrast, organisational-project skills require greater pedagogical structuring and are therefore more sensitive to purposeful influence. Joint content creation occupies an intermediate position: on the one hand, it relies on existing experience of using digital tools; on the other hand, it requires a move towards a more mature logic of collective authorship. This interpretation does not contradict the empirical data and helps to clarify which components of team interaction require particular attention in the further improvement of the methodology.

⁹⁷ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

⁹⁸ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

⁹⁹ Abildinova G., Abykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

¹⁰⁰ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

Another significant result is that the initial level effectively disappeared in the group across all three areas. In pedagogical terms, this means that even within a short formative cycle it was possible to move participants out of the zone of fragmented, weakly organised and mainly reactive participation in team activity. This does not mean that all participants reached a high level, but it does indicate that the most problematic threshold was overcome, namely the point at which team interaction had not yet become a natural way of acting for the learner. For the system of professional training, this is an important conclusion, since the transition from the initial to the basic level and then to the advanced level is the most critical from the point of view of later professional adaptation. If a learner has already gained experience of structured digital team work, this experience can later be expanded, deepened and transferred into pedagogical practice.

Along with the positive conclusions, the limitations of the study should also be taken into account. First of all, this concerns the pilot nature of the sample. The study involved 26 participants, which is sufficient for an initial check of the practical viability of the methodology, but not for broad generalisations. In addition, the absence of a control group does not make it possible to fully separate the effect of the methodology from the possible influence of other factors, including a general increase in participants' confidence during the work process or the effect of repeated measurement. The 4-point scale itself is also a certain limitation: it is suitable for level-based analysis, but does not capture more subtle internal changes. Finally, part of the assessment relied on self-assessment and therefore does not exclude subjective bias. At the same time, these limitations do not cancel the results, but rather define the boundaries of their interpretation and indicate directions for further research.

In view of this, the next step should be to expand the empirical testing of the methodology. It would be promising to include a control group, increase the sample size, extend the duration of the formative stage and use more detailed scales or combine level-based assessment with the analytics of digital traces. It would also be useful to analyse separately which types of tasks have the greatest effect on the communication, productive or organisational-project components. For the pre-service computer science teacher, this is especially important, as it would allow the development of team interaction to be integrated more precisely into professional disciplines, pedagogical practice and digital modules of the educational programme.

In a broader pedagogical sense, the results of the study allow one more important conclusion to be drawn. Team interaction should not be seen as a by-product of the digitalisation of education. The transition to platforms, services and cloud environments does not in itself guarantee the development

of high-quality collaboration. Moreover, without methodologically meaningful organisation, the digital environment may remain a space for individualised task completion. Only under conditions of specially designed activity does it become a space for developing team interaction. This is exactly what the pilot study showed: the positive dynamics were connected not with the fact of using digital tools as such, but with the fact that these tools were included in the logic of professionally relevant joint tasks, staged coordination and reflective support. This conclusion is consistent with the view that the effectiveness of a digital educational environment is determined by its pedagogical structure and its coherence with the tasks of joint activity, not simply by technological saturation^{101,102,103}.

Thus, the results of the pilot study confirm the promise of the proposed methodology and, at the same time, clarify the conditions of its effectiveness. The data most convincingly show that, for developing team interaction in pre-service computer science teachers, the combination of three elements is decisive: a professionally significant shared product, a functionally organised digital environment and reflectively supported team work. In this combination, team interaction ceases to be only a general requirement of modern education and becomes a real, pedagogically formed component of modernised professional training.

CONCLUSIONS

The study provided grounds for considering team interaction as a substantively significant component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers. It showed that the digital transformation of education changes not only the instrumental support of the educational process, but also the professional model of the teacher itself. In current conditions, the pre-service computer science teacher is expected not only to use digital tools, but also to act in an environment of distributed responsibility, joint creation of educational solutions, coordination of team activity and digitally mediated

¹⁰¹ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

¹⁰² Semenikhina O., Yurchenko A., Udovychenko O., Petruk V., Boroznets N., Nekyslykh K. Formation Of Skills To Visualize Of Future Physics Teacher: Results Of The Pedagogical Experiment. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 2021. Vol. 13(2). Pp. 476-497. <https://doi.org/10.18662/rrem/13.2/432>

¹⁰³ Yurchenko A. Integration of Project-Based Learning and Digital Visualization for Developing Soft Skills of Future STEM Teachers / O. Semenikhina (Ed.), *STEM Education in Canada and Ukraine: Transformations, Innovations, and Pathways for Sustainable Development*. Canada: Open Science Initiative, 2025. Pp. 135-184. <https://doi.org/10.31110/STEM-CaUk-3.2>

communication. Thus, team interaction should be viewed not as an additional social quality, but as a professional quality closely connected with digital pedagogical competence, the organisation of joint activity and readiness for modern pedagogical practice^{104,105}.

It was clarified that team interaction in pre-service computer science teachers is a complex integrated construct that combines communication-facilitation, cooperative-productive and organisational-project components. This structure reflects not only the general logic of team work, but also the specific features of computer science education, where professional activity is connected with the joint creation of digital products, coordination of actions in a digital environment, visualisation of the process and role distribution. This three-component structure made it possible to move from general discussion of collaboration to a more precise description of what should be developed in pre-service computer science teachers during professional training.

A system of criteria and indicators for team interaction formation was justified. It was determined that the communication-facilitation criterion reflects the quality of digital interaction, the ability to support discussion, provide feedback and facilitate the group process. The productive-cooperative criterion characterises participation in the joint creation of an educational product, readiness for collective authorship, editing and integration of contributions. The organisational-project criterion reveals the ability to see the structure of a shared task, coordinate stages of work, use digital planning tools and support the logic of the team process. On the basis of these criteria, low, medium and high levels of team interaction formation were characterised, which made it possible to describe it not as a static feature, but as one that develops gradually.

It was shown that the digital educational environment should be interpreted not as a set of separate services, but as a specially organised space for developing professionally significant ways of acting. Its pedagogical potential lies in combining communication, collaborative editing, visualisation, coordination and reflective analysis of the team process. The functional organisation of the environment becomes particularly important, as digital tools should perform not chaotic, but clearly defined roles in the structure of team work. This is consistent with current research, which stresses that the effectiveness of digital teacher

¹⁰⁴ Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>

¹⁰⁵ Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

training is determined by the pedagogical logic of using the environment, not only by the technical richness of the tools^{106,107,108,109}.

A methodology for developing team interaction in pre-service computer science teachers within a digital educational environment was developed. It is based on the principles of professional relevance, activity-based conditioning, gradual complication, functional organisation of the digital environment and reflective support. Its specific feature is that team interaction is developed not through explaining its importance, but through learners' direct participation in the joint creation of digital products, coordination of actions, role distribution, digital communication and analysis of their own experience. This approach corresponds to current views on effective formats of teacher training, which rely on active, practice-oriented and collaborative activity^{110,111}.

The results of the pilot study confirmed the promise of the proposed methodology. Positive dynamics were recorded in all three areas: digital communication and facilitation, joint content creation and team project management. The most pronounced shifts were found in the organisational-project component, which indicates the particular sensitivity of team interaction to forms of work in which the digital environment helps to structure the process, distribute roles, visualise stages and support coordination. At the same time, positive changes in the productive-cooperative and communication-facilitation dimensions show that shared digital authorship and meaningful communication can also be developed purposefully within a relatively short formative cycle. This gives grounds to consider team interaction as a pedagogically manageable

¹⁰⁶ Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

¹⁰⁷ Yurchenko A., Khvorostina Yu., Shamonia V., Soroka M., Semenikhina O. Digital Technologies in Teaching Physics: An Analysis of Existing Practices. *2023 45th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2023 – Proceedings*, 2023. P. 666-671. <https://doi.org/10.23919/MIPRO57284.2023.10159870>

¹⁰⁸ Yurchenko A., Proshkin V., Naboka O., Shamonia V., Semenikhina O. The use of digital technologies in education: the case of physics learning. *International Journal of Research in E-learning*, 2023. Vol. 9(2). Pp. 1–25. <https://doi.org/10.31261/IJREL.2023.9.2.02>

¹⁰⁹ Semenikhina O., Yurchenko A., Udovychenko O., Petruk V., Borozenets N., Nekyslykh K. Formation Of Skills To Visualize Of Future Physics Teacher: Results Of The Pedagogical Experiment. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 2021. Vol. 13(2). Pp. 476-497. <https://doi.org/10.18662/rrem/13.2/432>

¹¹⁰ Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1473766>

¹¹¹ Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541031>

quality whose development can and should become a component of the modernised professional training of pre-service computer science teachers.

At the same time, the study also revealed certain limits to the interpretation of the results. The pilot nature of the sample, the absence of a control group and the use of a broad 4-point scale do not allow the conclusions to be extended unreservedly to a wider population. However, even under these conditions, the obtained data are important, as they confirm the practical viability of the methodology, identify the most sensitive components of team interaction and outline prospects for further expansion of the study.

Thus, team interaction should be considered an important component of modernising the professional training of pre-service computer science teachers. Its purposeful development makes it possible to better align teacher training with the requirements of digital education, strengthen the practical orientation of professional formation, develop readiness for the joint creation of educational solutions and prepare future teachers for activity in a digitally organised educational environment.

Practical Recommendations. It is advisable to integrate the development of team interaction into the content of professional disciplines in the training of pre-service computer science teachers, rather than limiting it to separate training episodes. Such integration should take place through the systematic inclusion of shared professionally relevant tasks: developing digital lessons, creating interactive exercises, preparing visual models, jointly designing learning cases, and working with digital resources for blended and distance learning.

The digital educational environment should be built according to the principle of functional organisation. Tools for synchronous communication, collaborative editing, visualisation and coordination should perform clearly defined functions and be included in a single logic of work. In the training of pre-service computer science teachers, it is especially appropriate to combine video conferencing services, shared documents, digital boards and planning tools, since this combination best supports the development of all three components of team interaction.

It is necessary to purposefully develop not only the ability to complete tasks jointly, but also the ability to facilitate the group process. For this purpose, the educational process should include the roles of moderator, coordinator, person responsible for summarising, commentator, organiser of the visual board and similar roles. Such an approach will help pre-service computer science teachers move from the position of team participant to the position of future organiser of learners' team work.

Digital products should be used more widely as the central mechanism for developing team interaction. Team work should focus not on the formal

division of task parts, but on the joint creation of a coherent result that requires coordination, editing, responsibility for quality and collective reflection.

The organisation of team work should be supplemented with systematic reflection. Analysis of revision history, comments, the logic of task progress, participants' roles and difficulties in interaction should become a regular part of training. This will allow pre-service computer science teachers to understand more clearly not only the result, but also the process of team activity itself.

For further research, it is advisable to expand the sample, include a control group, extend the formative stage and refine the assessment tools. It would also be promising to study separately which types of digital tasks most effectively influence the communication-facilitation, cooperative-productive and organisational-project components of team interaction.

SUMMARY

The chapter substantiates the role of team interaction as a component of modernizing the professional training of pre-service computer science teachers in the context of the digital transformation of education. The starting point is the assumption that contemporary teacher training can no longer be reduced to the individual mastery of digital tools, since professional activity is increasingly associated with the collaborative design of educational solutions, coordination of actions, digital communication, facilitation of group processes, and the collective creation of digital products. The aim of the study is to provide a theoretical substantiation of the essence and structure of team interaction of the pre-service computer science teacher, to identify the criteria, indicators, and levels of its development, to design a methodology for fostering this quality in a digital educational environment, and to analyze the results of its pilot implementation. The study employed theoretical analysis of scholarly sources, generalization, modeling, structural and functional analysis, and elements of a pilot formative study using self-assessment, observation, analysis of digital artifacts, and statistical comparison of results before and after the implementation of the methodology. Relevant assessment criteria and indicators were identified, and the development of the studied quality was characterized as low, medium, or high. The developed methodology is based on the principles of professional relevance, activity-based conditioning, gradual complication, functional organization of the digital environment, and reflective support. Its implementation involves engaging pre-service computer science teachers in digitally organized team activities related to the collaborative creation of educational products, coordination of actions, and the use of communication, visualization, and planning tools. The pilot study results demonstrated positive dynamics across all three dimensions, with the most pronounced changes

observed in the organizational and project-based components. It is concluded that team interaction is a pedagogically manageable quality, and its purposeful development enhances alignment between the professional training of the pre-service computer science teacher and the contemporary requirements of digital education.

Bibliography

1. Abildinova G., Abdykerimova E., Assainova A., Mukhtarkyzy K., Abykenova D. Preparing educators for the digital age: Teacher perceptions of active teaching methods and digital integration. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1473766. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1473766>
2. Alom M. M., Ramalingappa V. Development and validation of a digital literacy scale and the evaluation of post-graduate teacher educators' digital literacy. *International Journal of Information and Education Technology*, 2025. Vol. 15, No. 10. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.10.2421>
3. Amemasor S. K., Oppong S. O., Ghansah B., Benuwa B.-B., Essel D. A systematic review on the impact of teacher professional development on digital instructional integration and teaching practices. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1541031. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1541031>
4. Andersen R., Mørch A., Litherland K. Collaborative learning with block-based programming: Investigating human-centered artificial intelligence in education. *Behaviour & Information Technology*, 2022. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2083981>
5. Arefian M. H., Çomoğlu I., Dikilitaş K. Understanding EFL teachers' experiences of ChatGPT-driven collaborative reflective practice through a community of practice lens. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 2024. Vol. 20(2). Pp. 318–333. <https://doi.org/10.1080/17501229.2024.2412769>
6. Bhardwaj V., Zhang S., Tan Y., Pandey V. Redefining learning: Student-centered strategies for academic and personal growth. *Frontiers in Education*, 2025. Vol. 10. Article 1518602. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1518602>
7. Brannan L., Parrish C. W., Szatkowski H. D. Team-based learning. *Handbook of research on critical thinking strategies in pre-service learning environments*. Hershey : IGI Global, 2019. P. 89–108. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7823-9.CH005>
8. Cohn C., Snyder C., Fonteles J., Montenegro J., Biswas G. A multimodal approach to support teacher, researcher and AI collaboration in STEM+C learning environments. *British Journal of Educational Technology*, 2024. Vol.56, Is. 2. Pp. 595-620. <https://doi.org/10.1111/bjet.13518>
9. Dahri N. A., Yahaya N., Al-Rahmi W. M., Noman H., Alblehai F., Kamin Y., Soomro R. B., Shutaleva A., Al-Adwan A. S. Investigating the

motivating factors that influence the adoption of blended learning for teachers' professional development. *Heliyon*, 2024. Vol. 10, № 15. Article e34900. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34900>

10. Diab A.-K., Green E. Cultivating resilience and success: Support systems for novice teachers in diverse contexts. *Education Sciences*, 2024. Vol. 14, № 7. Article 711. <https://doi.org/10.3390/educsci14070711>

11. Echeverría V., Yan L., Zhao L., Abel S., Alfredo R., Dix S., Jaggard H., Wotherspoon R., Osborne A., Buckingham Shum S., Gašević D., Martínez-Maldonado R. TeamSlides: A multimodal teamwork analytics dashboard for teacher-guided reflection in a physical learning space. *Proceedings of the 14th International Learning Analytics and Knowledge Conference*. New York : ACM, 2024. <https://doi.org/10.1145/3636555.3636857>

12. Fitrah M., Sofroniou A., Setiawan C., Widiastuti, Yarmanetti, N., Sari Jaya M. P., Panuntun J. G., Arfaton A., Beteno S., Susianti I. The impact of integrated project-based learning and flipped classroom on students' computational thinking skills: Embedded mixed methods. *Education Sciences*, 2025. Vol. 15, № 4. Article 448. <https://doi.org/10.3390/educsci15040448>

13. García-Delgado M. Á., Rodríguez-Cano S., Delgado-Benito V., di Giusto-Valle C. Digital teaching competence among teachers of different educational stages in Spain. *Education Sciences*, 2023. Vol. 13, No. 6. Article 581. <https://doi.org/10.3390/educsci13060581>

14. Ghazali M., Makrakis V., Kostoulas-Makrakis N., Yakob N., Rashid R. A. A., Othman W., Fitriyanto N. Predicting teacher's information and communication technology-enabled education for sustainability self-efficacy. *Sustainability*, 2024. Vol. 16, № 13. Article 5323. <https://doi.org/10.3390/su16135323>

15. Halawa S., Lin T.-C., Hsu Y.-S. Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 2024. Vol. 11. Article 43. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5>

16. Hodges C. D., Barbour M., Pratt K. The persistent deficit: Historical gaps in the preparation of K-12 educators for digital teaching. *Journal of Online Learning Research*, 2026. Vol. 12, No 1. Pp. 169-193. <https://doi.org/10.70725/361467zxvzis>

17. Jetzinger F., Baumer S., Michaeli T. Artificial intelligence in compulsory K-12 computer science classrooms: A scalable professional development offer for computer science teachers. *Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2024. Vol. 1. P. 1461–1467. <https://doi.org/10.1145/3626252.3630782>

18. Khasawneh Y. J. A., Alsarayreh R., Al Ajlouni A. A., Eyadat H., Ayasrah M., Khasawneh M. An examination of teacher collaboration in professional learning communities and collaborative teaching practices. *Journal of Education and e-Learning Research*, 2023. Vol. 10, № 3. P. 446–452. <https://doi.org/10.20448/jeelr.v10i3.4841>
19. Krishna L., Pisupati A., Teo K. J. H., Teo M. Y. K., Quek C., Chua K. Z. Y., Venktaramana V., Raveendran V., Singh H., Wong S. L. C., Ng V. W. W., Ting O., Loh E. K. Y., Yeoh T. T., Owyong J. L. J., Ong E., Phua G., Hill R., Mason S., Ong S. Y. K. Professional identity formation amongst peer-mentors in a research-based mentoring programme. *BMC Medical Education*, 2023. Vol. 23. Article 764. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04718-y>
20. Kuznetsova M., Gura D., Vorona-Slivinskaya L. Virtual team building in an intelligent collaborative learning environment. *Journal of Information Technology Education: Research*, 2023. Vol. 22. P. 495–517. <https://doi.org/10.28945/5089>
21. Lavado-Anguera S., Velasco-Quintana P.-J., Terrón-López M. Project-based learning (PBL) as an experiential pedagogical methodology in engineering education: A review of the literature. *Education Sciences*. 2024. Vol. 14, № 6. Article 617. <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>
22. Lin R., Yang J., Jiang F., Li J. Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, 2022. Vol. 27. P. 10537–10557. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>
23. Meletiou-Mavrotheris M., Paparistodemou E. Sustaining teacher professional learning in STEM: Lessons learned from an 18-year-long journey into TPACK-guided professional development. *Education Sciences*, 2024. Vol. 14, № 4. Article 402. <https://doi.org/10.3390/educsci14040402>
24. Norhagen S. L., Krumsvik R., Røkenes F. Developing professional digital competence in Norwegian teacher education: A scoping review. *Frontiers in Education*, 2024. Vol. 9. Article 1363529. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1363529>
25. Paolucci C., Vancini S., Bex R. T., Cavanaugh C., Salama C. D., de Araujo Z. A review of learning analytics opportunities and challenges for K-12 education. *Heliyon*, 2024. Vol. 10, № 4. Article e25767. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25767>
26. Revina S., Pramana R., Bjork C., Suryadarma D. Replacing the old with the new: Long-term issues of teacher professional development reforms in Indonesia. *Asian Education and Development Studies*, 2023. Vol. 12, № 4/5. P. 257–274. <https://doi.org/10.1108/AEDS-12-2022-0148>

27. Rudenko Y., Ahadzhanov-Honsales K., Ahadzhanova S., Batalova A., Diemientiev Y., Semenikhina O. Interactive boards as digital tools in the modern educational process. *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2024. P. 329–333. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569393>
28. Rudenko Y., Zhurba K., Bekh I., Petrenko S., Bobokalo A., Semenikhina O. Using dashboards in the development of students' analytical thinking. *2025 48th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2025. P. 406–411. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131997>
29. Rusmin L., Misrahayu Y., Pongpalilu F., Radiansyah R., Dwiyanto D. Critical thinking and problem-solving skills in the 21st century. *Journal of Social Science*, 2024. Vol. 5, № 3. <https://doi.org/10.59613/svhy3576>
30. Semenikhina O., Yurchenko A., Udovychenko O., Petruk V., Borozenets N., Nekyslykh K. Formation Of Skills To Visualize Of Future Physics Teacher: Results Of The Pedagogical Experiment. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 2021. Vol. 13(2). Pp. 476–497. <https://doi.org/10.18662/rrem/13.2/432>
31. Semenog O., Hrona N., Khomych T., Stasiuk T., Yurchenko A., Semenikhina O. Communicative tasks as a means of developing the emotional intelligence of students. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 2024. Vol. 16, No. 4. P. 46–57. <https://doi.org/10.5815/ijmeccs.2024.04.04>
32. Shal T., Ghamrawi N., Abu-Tineh A. M., Al-Shaboul Y. M., Sellami A. Teacher leadership and virtual communities: Unpacking teacher agency and distributed leadership. *Education and Information Technologies*, 2024. Vol. 29. P. 6037–6064. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12446-5>
33. Soroko N., Shymon O. Teachers' readiness to use digital tools in a STEAM-oriented educational environment. *Educational Analytics of Ukraine*, 2025. № 1. P. 28–42. <https://doi.org/10.32987/2617-8532-2025-1-28-42>
34. Tanveer M., Mildestvedt T., Skjærseth I. G., Arntzen H. H., Kenne E., Bonnevier A., Stenfors T., Kvernenes M. Peer teaching in undergraduate medical education: What are the learning outputs for the student-teachers? A systematic review. *Advances in Medical Education and Practice*, 2023. Vol. 14. P. 723–739. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S401766>
35. Theodorio A. O. Examining the support required by educators for successful technology integration in teacher professional development program. *Cogent Education*, 2024. Vol. 11, № 1. Article 2298607. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2298607>
36. Treve M. Comparative analysis of teacher-centered and student-centered learning in the context of higher education: A co-word analysis. *Iberoamerican*

Journal of Science Measurement and Communication, 2024. Vol. 4, № 1. Article 117. <https://doi.org/10.47909/ijsmc.117>

37. Tzafilkou K., Perifanou M. A., Economides A. A. Assessing teachers' digital competence in primary and secondary education: Applying a new instrument to integrate pedagogical and professional elements for digital education. *Education and Information Technologies*, 2023. Vol. 28. P. 10551–10583. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11848-9>

38. Yadav A., Connolly C., Berges M., Chytas C., Franklin C., Hijón-Neira R., Macann V., Margulieux L. E., Ottenbreit-Leftwich A. T., Warner J. R. A review of international models of computer science teacher education. *ITiCSE-WGR*, 2022. <https://doi.org/10.1145/3571785.3574123>

39. Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: A systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. *International Journal of STEM Education*, 2023. Vol. 10. Article 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00396-w>

40. Yim I. H. Y., Su J. Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. *Journal of Computers in Education*, 2024. Vol. 12, p. 93–131. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9>

41. Yurchenko A. Integration of Project-Based Learning and Digital Visualization for Developing Soft Skills of Future STEM Teachers / O. Semenikhina (Ed.), *STEM Education in Canada and Ukraine: Transformations, Innovations, and Pathways for Sustainable Development*. Canada: Open Science Initiative, 2025. Pp. 135-184. <https://doi.org/10.31110/STEM-CaUk-3.2>

42. Yurchenko A., Drushlyak M., Khvorostina Y., Ostroha M., Ponomarenko V., Semenikhina O. The impact of team competitions on the development of soft skills in youth. *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*. IEEE, 2024. P. 323–328. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569574>

43. Yurchenko A., Khvorostina Yu., Shamonina V., Soroka M., Semenikhina O. Digital Technologies in Teaching Physics: An Analysis of Existing Practices. *2023 45th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2023 – Proceedings*, 2023. P. 666-671. <https://doi.org/10.23919/MIPRO57284.2023.10159870>

44. Yurchenko A., Mulesa P., Semenikhina O. Individual educational trajectory building as a successful teacher skill in the digital age. *Pedagogy and Education Management Review*, 2023. Vol. 2. Pp. 64–72. <https://doi.org/10.36690/2733-2039-2023-2-64-72>

45. Yurchenko A., Proshkin V., Naboka O., Shamonina V., Semenikhina O. The use of digital technologies in education: the case of physics learning.

International Journal of Research in E-learning, 2023. Vol. 9(2). Pp. 1–25. <https://doi.org/10.31261/IJREL.2023.9.2.02>

46. Zarestky J., Bigler M., Brazile M., Lopes T., Bangerth W. Reflective writing supports metacognition and self-regulation in graduate computational science and engineering. *Computers and Education Open*, 2022. Vol. 3. Article 100085. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100085>

47. Zhang X., Zhang B., Zhang F. Student-centered case-based teaching and online–offline case discussion in postgraduate courses of computer science. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2023. Vol. 20. Article 6. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00374-2>

48. Zhou X.-J., Shu L., Xu Z., Padrón Y. N. The effect of professional development on in-service STEM teachers' self-efficacy: A meta-analysis of experimental studies. *International Journal of STEM Education*, 2023. Vol. 10. Article 37. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00422-x>

49. Богославський С., Семеніхіна О., Юрченко А. Порівняльний аналіз українських та європейських практик організації цифрового освітнього середовища. *Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського*, 2025. Випуск 2 (151). С. 38-42. <https://doi.org/10.24195/2617-6688-2025-2-6>

50. Шамо́ня В. Г., Хворості́на Ю. В., Юрченко А. О., Семеніхі́на О. В. Використання засобів комп'ютерної візуалізації в освіті: узагальнення наявних практик. *Педагогічна Академія: наукові записки*, 2026. Вип. 28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19645296>

51. Юрченко А., Момот Р., Острога М., Семеніхіна О. Візуалізація знань засобами вебтехнологій у формуванні критичного мислення майбутніх учителів інформатики. *Фізико-математична освіта*, 2025. Том 40, №5. С. 80-88. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-11>

52. Юрченко А., Момот Р., Семеніхіна О. Про розвиток інформаційно-цифрової культури вчителів з використанням комп'ютерної візуалізації. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2024. Том 12, № 6. С. 93-99. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol12i6-014>

53. Юрченко А., Різник В., Шамо́ня В., Семеніхі́на О. Взаємні синергійні впливи візуального підходу та SMART-освіти. *Освітологічний дискурс*, 2025. Том 49, №2. С. 6–14. <https://doi.org/10.28925/2312-5829/2025.2.1>

Information about the authors:

Yurchenko Artem Oleksandrovych,

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Computer Sciences Department
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko
87, Romenska street, Sumy, Ukraine

Semenikhina Olena Volodymyrivna,

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Professor at the Computer Sciences Department
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko
87, Romenska street, Sumy, Ukraine

03

SECTION



**DEVELOPMENT
OF DIGITAL
COMPETENCIES
AMONG
PARTICIPANTS
IN THE
EDUCATIONAL
PROCESS**

**PECULIARITIES OF FORMING A CULTURE
OF FUTURE TEACHERS IN THE USE OF DIGITAL
TOOLS IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

Dehtiarova N. V., Onishchenko M. L.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-696-6-4>

INTRODUCTION

In today's schools, teachers use a wide range of digital tools. These include both devices and digital environments that simplify lesson preparation and classroom instruction. However, such use is sometimes merely formal in nature. There are also situations in which every stage of a lesson depends on online services and internet-based platforms. This excessive reliance may produce the opposite effect.

For various conscious or unconscious reasons, teachers' use of digital tools may be accompanied by violations of academic integrity principles, disregard for the norms of digital ethics, and insufficient attention to the critical evaluation of information. This highlights the need for the purposeful development of a culture of digital tool use.

It is especially important for future teachers to develop a solid foundation for the further growth of such a culture, to continue improving and updating it throughout their professional lives, and to acquire the ability to foster this culture in learners as well.

Although software tools and methodological approaches to their use have been studied for many years, courses aimed at developing the relevant knowledge and skills are still being designed and updated in higher education institutions. In particular, academic staff develop such courses in order to build the methodological competence of future teachers in the use of digital technologies¹.

This topic remains relevant and will continue to be relevant as long as digital technologies continue to evolve: software versions are updated, new digital tools are created, artificial intelligence develops, and new digital platforms emerge.

¹ Яцюк С., Хомяк М., Юнчик В., & Чепрасова Т. Методика використання цифрових освітніх ресурсів у процесі підготовки майбутніх учителів інформатики. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. № 16. 2021. С. 15–25. <https://doi.org/10.31865/2414-9292.16.2021.246263>

Within the academic community, there are numerous studies devoted to the development of the digital (information, information-digital) culture of future teachers. Many researchers also examine both the positive aspects of using digital technologies and the negative consequences of prolonged use of digital devices. In addition, studies explore the concept of information culture, analyze the role of teachers in the use of digital tools during lessons, and address issues related to media literacy and academic integrity^{2,3,4}. At the same time, in pedagogical practice there is still insufficient development of a comprehensive approach to the methodological features of forming a culture of digital tool use. Such an approach should take into account the current challenges of distance learning, the overuse and saturation of digital devices and tools, the deep immersion of young people in digital environments, and the significant amount of time they spend using digital technologies.

1. Theoretical Foundations of Forming a Culture of Using Digital Tools

1.1. The essence of the concept of "culture of using digital media"

Over the past decades, a broad range of approaches has emerged in academic discourse for conceptualizing the impact of digital technologies on the sociocultural space. To describe these transformations, researchers use terms such as “cyberculture”, “virtual culture”, “network culture”, and “digital culture”. All of them belong to so-called “umbrella” concepts that generalize different aspects of human interaction with the digital environment. At the same time, comparing these terms helps to avoid terminological redundancy and to define more precisely the meaning of each of them.

The growing academic interest in the phenomenon of digital culture dates back to the mid-2000s and is directly linked to the development of Web 2.0 technologies. Interactivity, orientation toward the mass user, and the hybridization of online and offline spaces contributed to the transformation of the Internet into a fully-fledged environment for communication, professional activity, and leisure. In these conditions, digital culture emerges as a complex

² Дундар О. Формування цифрової культури майбутніх учителів: стратегічний вектор закладів вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 219. 2025. С. 497-500. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-497-500>.

³ Гринько В. Використання цифрових технологій для формування у майбутніх учителів умінь ххі століття. *Молодь і ринок. Науково-популярний журнал*. Вип. 5 (172). 2019. С. 56-62. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2019.171023>.

⁴ Воронова Н. Професійна етика і культура використання цифрових архівів та інтерактивних платформ у підготовці майбутнього вчителя історії. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. Вип.23(1). 2025. С. 17-30. <https://doi.org/10.31865/2414-9292.23.2025.334007>.

and multidimensional phenomenon encompassing both technological and sociocultural changes^{5,6,7,8}.

In contemporary scholarly literature, several main approaches to interpreting the concept of digital culture are distinguished. The technological (technocratic) approach views it as a result of the influence of information and communication technologies on the cultural sphere. Within this framework, digital culture is interpreted as a process of digitization of cultural practices, creative products, and forms of interaction between cultural institutions and audiences.

The second approach is associated with understanding digital culture as a component of the information society. In this context, it reflects changes in communication methods, in the production and consumption of information, as well as the formation of new patterns of user behavior in the digital environment. Digital culture is closely linked to the concepts of “information culture” and “computer culture”, but it is not limited to them. While information culture primarily focuses on skills related to working with information and technologies, digital culture goes beyond an instrumental perspective, encompassing value-based, communicative, and worldview dimensions.

The cultural approach interprets digital culture as a component of global culture, which is formed under the influence of digitalization. Within its framework, it appears as a set of new cultural practices, artifacts and forms of interaction, in particular electronic art, digital media, virtual communities and interactive platforms⁹.

A special place is given to the value-based approach, according to which digital culture is considered a system of norms, values, and behavioral models within the digital environment. In this context, it includes such components as the culture of digital activity, digital communication, individuals’ information needs, and a digital worldview. It is precisely the digital worldview that determines a person’s attitude towards information, the ways it is used, and one’s own role in the information society.

⁵ Henry Jenkins. *Convergence Culture: Where Old and New Media Collide*. New York : New York University Press, 2006. 308 p

⁶ Lev Manovich. *The Language of New Media*. Cambridge: MIT Press, 2001. 354 p

⁷ Manuel Castells. *The Rise of the Network Society*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2010. 597 p.

⁸ O’Reilly T. *What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software*. URL: <http://www.oreilly.com> (дата звернення: 18.04.2026)

⁹ Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Інформаційна культура як складова професійної підготовки сучасного фахівця. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2011. № 5 (25). С. 3-12

In the context of the educational process, digital culture becomes particularly significant. It is viewed not merely as a set of technical skills and competencies, but as an integral characteristic of the individual that determines their ability to function effectively in a digital environment¹⁰. In particular, digital culture encompasses the ability to use digital technologies in educational and professional activities, the capacity to critically evaluate information, adherence to ethical norms of digital interaction, and the development of a responsible attitude towards the information space.

In view of this, digital culture in the educational process can be defined as a complex personal characteristic that combines knowledge, skills, values, and behavioral practices necessary for effective, safe, and ethically grounded activity in a digital environment. Its formation is one of the key tasks of modern education, as it ensures an individual's adaptation to the conditions of the digital society and contributes to both professional and personal development. At the same time, it is important to clarify the structure of the culture of digital tool use as a component of digital culture. It is a complex construct that includes several interrelated components.

Information culture presupposes an individual's ability to effectively search for, evaluate, process, and use information in a digital environment. Digital culture (in the narrow sense) characterizes the level of mastery of digital technologies, software tools and platforms that ensure active participation in the modern information society¹³. Ethical culture defines a system of norms and principles of responsible behavior in the digital environment, including respect for privacy, copyright, and the principles of cyber ethics. Communication culture reflects the ability to interact effectively, appropriately, and safely within digital communication environments, including social networks and online platforms.

The culture of using digital tools is closely related to the concept of "digital competence", but it is not identical to it. Digital competence is defined as a set of knowledge, skills, and abilities required for the effective use of digital technologies in learning, professional activity, and everyday life¹¹. Instead, the culture of using digital tools has a broader nature, as it also encompasses value orientations, ethical attitudes and behavioral models of the individual.

Thus, digital competence acts as the operational basis of activity in the digital environment, while the culture of using digital tools is an integrative

¹⁰ Гуржій А. М. Цифрова компетентність як складова професійної підготовки фахівця. *Освіта і суспільство*. 2018. № 2. С. 45-50

¹¹ Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти. Київ : Атіка, 2008. 684 с.

phenomenon that reflects the level of socialization of the individual in the conditions of a digital society¹².

1.2. Digital tools in the educational process

The digitalization of the educational process is a complex multidimensional phenomenon that involves the interdependent transformation of both the educational environment and the technical tools that ensure its functioning. In modern conditions, digital technologies serve not only as instruments for supporting learning but also as a determining factor in the organization, content, and effectiveness of educational activities.

The primary goal of the digitalization of the educational process is the effective use of the potential of digital technologies to improve the quality of education. At the same time, the development of technologies in the field of education is aimed at their adaptation to pedagogical needs and their integration into the educational process in accordance with the principles of accessibility, appropriateness, and ease of use. The implementation of digital technologies significantly expands the opportunities available to educational institutions. In particular, innovative forms of learning are developing actively, including online learning, blended learning, mobile learning, and microlearning. This ensures the mobility of the educational process, its independence from spatial and temporal limitations, and also contributes to increasing access to education.

The use of electronic educational resources provides access to a wide range of learning materials, promotes the integration of educational platforms, and supports the formation of a unified informational and educational environment. As a result, there is a transition toward competency-based learning models that correspond to the demands of the digital society¹³.

In this context, digital didactics acquires particular importance as a branch of pedagogical science that studies the patterns and principles of organizing the educational process under conditions of digitalization. It is based on classical didactic principles, transforming them in accordance with modern technological possibilities. The main principles of the digital educational process include: the principle of the dominance of independent learner activity; the principle of personalized learning; the principle of the appropriate use of digital technologies; the principle of flexibility and adaptability; the principle of learning success; the principle of interaction and collaboration; the principle of practical orientation; the principle of the gradual complication of educational material; the principle of the richness of the educational

¹² Harry Rheingold. *Net Smart: How to Thrive Online*. Cambridge : MIT Press, 2012. 344 p.

¹³ Жалдак М. І. *Інформаційні технології в освіті : навч. посіб.* Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. 320 с.

environment; the principle of multimodality; and the principle of embedded assessment^{14,15,16,17}.

The implementation of these principles contributes to the effective organization of the educational process, the individualization of learning, and the development of learners' digital competence. Digital tools in the educational process are understood as electronic instruments, resources, and technologies used for learning, teaching, and knowledge assessment. The analysis of the above-mentioned and other scholarly sources^{18,19} made it possible to generalize approaches to defining their essence and to classify them according to their didactic purpose (Table 1).

Table 1

Classification of electronic learning tools

Category of tools	Types of electronic devices	Appointment	Examples
1. Means of theoretical and technological training	electronic textbook, computer-based training program, knowledge control system	assimilation of theoretical knowledge, formation of basic skills, testing of knowledge	online textbooks, training courses, tests
2. Practical training tools	electronic problem book, computer simulator, expert learning systems, intelligent learning systems	formation of practical skills, modeling of professional situations	virtual training machines, simulators, AI systems

¹⁴ Морзе Н. В. Цифрова компетентність педагогічних працівників. Київ : Київський університет імені Бориса Грінченка, 2018. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/> (дата звернення: 13.04.2026).

¹⁵ Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Цифрові освітні ресурси у сучасній школі. Київ : Університет, 2022. 180 с.

¹⁶ Спрін О. М. Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: проблеми впровадження та використання. Київ : ІТЗН НАПН України, 2017. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/ict/> (дата звернення: 13.04.2026).

¹⁷ European Commission. The Digital Competence Framework for Citizens (DigComp 2.2). Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp_en (дата звернення: 13.04.2026).

¹⁸ Биков В. Ю., Спрін О. М. Цифрові технології у професійній освіті: сучасні тенденції. Київ : ІТЗН НАПН України, 2023. 210 с.

¹⁹ Шишкіна М. П. Хмароорієнтовані системи відкритої освіти : монографія. Київ : ІТЗН НАПН України, 2016. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/ccelab/> (дата звернення: 13.04.2026).

Continuation of table 1

3. Auxiliary means	computer laboratory workshop, computer reference book, multimedia lesson, service software	support for the educational process, access to information, data processing	virtual laboratories, reference books, video lectures, Excel
4. Comprehensive tools	computer training course, electronic educational resource	integration of theory, practice and control	online courses, educational platforms

The conducted analysis demonstrates that electronic learning tools possess a systemic, hierarchically organized, and multifunctional nature. The identification of four main categories reflects the logic of educational activity – from knowledge acquisition to competency formation and the assessment of learning outcomes. Tools for theoretical training form the foundation of knowledge, while tools for practical training ensure the development of professional skills through the simulation of real-life situations. Supplementary tools perform a service function by supporting the educational process and increasing its effectiveness. Of particular importance are integrated tools, which combine all stages of learning and ensure the integrity and continuity of the educational process. Their use contributes to the implementation of an individualized approach and to the development of learners' digital competence.

At the same time, it is advisable to consider classifications that reflect the evolution of digital technologies in education. In particular, George Siemens proposes an approach that makes it possible to examine the development of digital technologies as a sequence of stages in the formation of the digital educational environment.²⁰

The development of digital technologies in education can be conventionally divided into four stages:

- the use of computers and websites in education;
- the implementation of learning content management systems (LCMS);
- the development of social networks, electronic portfolios, and distance learning;
- the formation of a comprehensive digital infrastructure that supports adaptive learning and competency modeling.

At each of these stages, the key factors in organizing the educational process undergo changes, including the level of control over interaction among

²⁰ Siemens G. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. 2005. URL: <http://www.learnspace.org/Articles/connectivism.htm> (дата звернення: 13.04.2026).

participants, ownership of educational data, methods of information exchange, and the balance between centralized and decentralized approaches. The evolution of digital technologies in the education system demonstrates a transition from the fragmented use of individual tools to the creation of integrated adaptive educational systems. This significantly enhances their didactic potential.

Therefore, it is advisable to consider digital learning tools not only as a tool, but as a structural component of the modern information and educational environment, which ensures an increase in the quality of education in accordance with the requirements of the digital society. The didactic potential of digital technologies significantly affects pedagogical activity, in particular through²¹:

- expanding learning opportunities;
- individualization of the educational process;
- strengthening cooperation and exchange of experience;
- increasing the motivation of education seekers;
- developing digital competencies of teachers.

Thus, digital technologies provide a more effective organization of the educational process, contribute to its individualization and improve the quality of educational results. At the same time, along with the significant advantages of using digital tools in the educational process, their implementation is accompanied by a number of risks and challenges that need to be taken into account when organizing training.

One of the most pressing issues is digital inequality, which manifests itself in unequal access of learners to technical devices and internet resources. Another significant risk is information overload, which can negatively affect the quality of knowledge acquisition and concentration. Important challenges also include issues of cybersecurity and the protection of personal data in the digital educational environment. In addition, the risk of excessive dependence on digital technologies should be noted, as it may reduce the level of independent thinking and traditional learning skills.

Thus, the effective use of digital tools is possible only under the condition of a pedagogically grounded approach, adherence to the principle of the appropriateness of their use, and ensuring an adequate level of digital competence among all participants in the educational process.

1.3. Normative and ethical aspects of using digital tools

Digital ethics is an interdisciplinary field of scientific knowledge that studies the moral, social, and cultural aspects of the functioning of digital technologies

²¹ Дидактика цифрової освіти: теоретичні та практичні аспекти : посібник/ за ред. О. П. Пінчук. Київ : ПТЗН НАПН України, 2020. 220 с.

in contemporary society. It emerges at the intersection of philosophy, ethics, sociology, law, and information technologies and is aimed at conceptualizing the normative foundations of human interaction with the digital environment. In a broad sense, digital ethics encompasses issues related to the use of computer systems, the Internet, artificial intelligence, big data technologies, as well as cybersecurity tools. Its central object of study is the system of moral principles that regulate the creation, implementation, and use of digital technologies.

The main categories, which in some sources are classified as principles of digital ethics, include privacy, fairness, equal access, data security, transparency, responsibility, and digital literacy. These categories form the normative basis for regulating the digital space and define the boundaries of ethically acceptable behavior for users, developers, and regulators.

The principle of privacy implies an individual's right to control their personal data and protection against unauthorized intrusion into private life. Its implementation is a key condition for ensuring trust in digital technologies^{22,23}.

The principle of fairness and equality is focused on preventing digital inequality and ensuring equal access to information resources and technologies regardless of the social status of users^{24,25}.

The principle of data security outlines the protection of information from unauthorized access, interference and leakage, as well as ensuring the accountability of entities that process data.

The principle of transparency and consent is based on the need to inform users about the ways in which their data will be used and to obtain informed consent for its processing²⁶.

The principle of responsibility and integrity determines the need for ethical use of digital technologies by all participants in digital interaction – from developers to end users^{27,28}.

The principle of digital literacy reflects the need of society to develop skills for the safe, critical and effective use of digital technologies. Cabinet of Ministers of Ukraine²⁹.

²² UNESCO. *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. 2021. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>. Michael J. Quinn. *Ethics for the information age* (7th ed.). 2019. Pearson.

²³ Michael J. Quinn. *Ethics for the Information Age*. 7th ed. Boston: Pearson, 2019.

²⁴ OECD Principles on Artificial Intelligence. Paris, 2019. URL: <https://oecd.ai/en/ai-principles>.

²⁵ Mittelstadt B. D. et al. The ethics of algorithms. *SSRN Electronic Journal*. 2016.

²⁶ Floridi L. et al. AI4People-An Ethical Framework for a Good AI Society // *Minds and Machines*. 2018. Vol. 28.

²⁷ Deborah G. Johnson. *Computer Ethics*. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2009.

²⁸ Helen Nissenbaum. Privacy as contextual integrity // *Washington Law Review*. 2004. Vol. 79

²⁹ Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки. 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p/>

The formation of digital ethics took place in parallel with the development of information and communication technologies. In the 1940s–1970s, a technocratic approach focused on the development of cybernetics and information processing prevailed, while ethical issues remained secondary³⁰.

In the 1970s and 1980s, with the development of computer systems, the need for professional ethical regulation became more urgent. An important stage was the adoption of the ACM Code of Ethics (1972), which laid the foundations of professional responsibility in the field of information technology³¹. In the 1990s and 2000s, with the mass spread of the Internet, problems of personal data protection, privacy and cybersecurity arose. During this period, the first regulatory mechanisms for regulating the digital environment were formed. In the 2000s–2010s, the development of artificial intelligence led to the emergence of new ethical challenges related to autonomous systems, algorithmic decisions, and responsibility for their consequences³².

Since the 2010s, digital ethics has become global, as evidenced by the growing role of corporate social responsibility and international initiatives. The current stage (since 2020) is characterized by the institutionalization of global digital ethics, in particular through the activities of international organizations such as UNESCO, which formulate recommendations for the ethical development of a digital society.

The development of digital technologies gives rise to complex ethical challenges, including the above and new ones: privacy violations and unauthorized collection of personal data; digital inequality and limited access to technologies; algorithmic discrimination and bias of automated systems; problems of ethical responsibility of artificial intelligence; the spread of disinformation in the digital environment; risks of biometric control and loss of anonymity; bioethical problems associated with the development of genetic engineering and biotechnology. These problems demonstrate the need for a comprehensive approach to regulating the digital environment, combining legal, ethical and technological mechanisms.

The study of digital ethics is based on the use of various philosophical and interdisciplinary approaches that allow for a comprehensive analysis of digital transformations³³:

³⁰ Luciano Floridi. *The Ethics of Information*. Oxford: Oxford University Press, 2013.

³¹ Association for Computing Machinery. *ACM Code of Ethics and Professional Conduct*. New York, 1972 (оновлена версія 2018). URL: <https://www.acm.org/code-of-ethics>

³² Nick Bostrom. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford : Oxford University Press, 2014.

³³ Шевченка Л. П. Інформаційна етика: теоретико-методологічні засади. Київ : Інститут філософії НАН України, 2015. 312 с.

- deontological approach – focuses on moral rules and principles;
- utilitarian approach – evaluates the usefulness and consequences of technologies;
- contractarian approach – analyzes social agreements and mutual obligations;
- feminist approach – considers gender equality and non-discrimination;
- existential approach – emphasizes personal autonomy;
- posthumanist approach – examines the interaction between humans and technologies;
- critical approach – analyzes social inequality;
- ecological approach – assesses the impact of digital technologies on the environment.

The application of these approaches allows us to reveal the multidimensionality of digital ethics and its social significance. The essence of academic integrity, enshrined in the Law of Ukraine "On Education"³⁴, is the observance of ethical norms and established rules by all participants in the educational process during educational and scientific activities. It involves respect for intellectual property, copyright, as well as the prevention of any forms of violations, in particular plagiarism, falsification of results and the use of dishonest methods in teaching or research. Academic integrity is a system of ethical principles that regulate educational and scientific activities and include honesty, responsibility, transparency, independence and correct citation of sources^{35,36}.

In the context of the digital transformation of education, the content of academic integrity is significantly expanding, which is due to ^{37,38}:

- instant access to large amounts of information;
- the emergence of automatic text generation tools;
- the increase in the number of digital sources;
- the difficulty of detecting plagiarism.

Effectively ensuring academic integrity in the digital age involves:

³⁴ Про освіту: Закон України від 5 вересня 2017 р. № 2145-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 18.04.2026).

³⁵ Академічна доброчесність. МОН України. URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/akademichna-dobrochesnist> (дата звернення: 18.04.2026).

³⁶ Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти. Академічна доброчесність. URL: <https://naqa.gov.ua/akademichna-dobrochesnist/> (дата звернення: 18.04.2026).

³⁷ UNESCO. Academic Integrity. URL: <https://www.unesco.org/en/education/academic-integrity> (дата звернення: 18.04.2026).

³⁸ Fishman T. The Fundamental Values of Academic Integrity. International Center for Academic Integrity, 2014. URL: <https://www.academicintegrity.org/resources/fundamental-values/> (дата звернення: 18.04.2026)

- implementation of educational programs on digital ethics;
- formation of critical thinking skills and information literacy;
- regulatory regulation of the use of artificial intelligence in education;
- development of anti-plagiarism and ethical audit systems;
- increasing the level of digital competence of participants in the educational process;
- strengthening academic responsibility.

Digital ethics is a key theoretical and methodological foundation for the formation of a modern system of academic integrity. Its development reflects the transformation of society under conditions of digitalization and the growing influence of information technologies on all spheres of life. In the digital era, academic integrity acquires a complex nature, as it requires the integration of ethical, legal, and educational mechanisms. Ensuring its effective implementation is a necessary condition for maintaining the quality of education, the reliability of scientific research, and the sustainable development of the information society.

The modern educational and scientific system faces a number of problems, including:

- academic plagiarism and unauthorized copying of digital content;
- uncontrolled use of generative artificial intelligence;
- fabrication or automatic creation of scientific data;
- copyright infringement;
- dissemination of false information;
- insufficient level of digital literacy of education seekers.

These phenomena require a systematic response through educational, regulatory, and technological mechanisms. In this context, copyright acts as a key institution of legal regulation in the digital educational environment, as it ensures the protection of the results of intellectual activity and defines the legal foundations for the use of educational and scientific materials. Its role is significantly strengthened under conditions of educational digitalization, when educational resources take on electronic forms, are distributed through digital platforms, and are integrated into open educational environments.

The legal regulation of copyright in Ukraine is carried out through a system of normative legal acts, including the Law of Ukraine “On Copyright and Related Rights,” the Law of Ukraine “On Education,” the Law of Ukraine “On Higher Education,” the Law of Ukraine “On Information,” the Law of Ukraine “On Personal Data Protection,” and the Law of Ukraine “On Electronic Communications,” which collectively form a comprehensive legal framework for digital education and the protection of intellectual

property^{39,40,41,42,43}. In practical terms, this involves adhering to the principles of fair use or licensing of educational materials, which ensures a balance between open access to knowledge and protection of intellectual property rights, while the most common forms of violations remain plagiarism, unauthorized copying of digital content, and non-compliance with license terms.

Intellectual property, in a broader sense, also includes patent law and trademarks, which play an important role in the field of education. Patent law ensures the protection of educational innovations, teaching methodologies, and technological solutions, although its application is complicated by the high cost of procedures and the need to maintain a balance between the protection of rights and the openness of knowledge. Trademarks, in turn, perform the function of identifying educational institutions, protect their symbols, and contribute to the formation of educational identity and competitiveness in both national and international educational spaces.

In the context of the digital transformation of education, the creation of a safe educational environment is one of the priority directions of Ukraine's state educational policy. It involves the development of digital literacy, the formation of responsible online behavior among learners, as well as the development of socio-emotional competence. These requirements are integrated into both state educational standards and professional standards of pedagogical activity, ensuring a systematic approach to the development of digital competencies among all participants in the educational process. An important component of this process is raising awareness of cyber threats, in particular cyberbullying, online fraud, and other forms of digital aggression, which contributes to the formation of safe and responsible behavior in the digital environment.

Scientific research emphasizes that a safe educational environment is a necessary condition for effective learning, socialization, and self-realization of students^{44,45}. In the context of the widespread use of digital platforms, electronic gradebooks, cloud services, and mobile applications, issues of

³⁹ Про авторське право та суміжні права : Закон України від 1 грудня 2022 р. № 2811-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2811-20#Text> (дата звернення : 18.04.2026)

⁴⁰ Про вищу освіту : Закон України від 1 липня 2014 р. № 1556-VII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення : 18.04.2026)

⁴¹ Про інформацію : Закон України від 2 жовтня 1992 р. № 2657-XII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2657-12#Text> (дата звернення : 18.04.2026)

⁴² Про захист персональних даних : Закон України від 1 червня 2010 р. № 2297-VI URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text> (дата звернення : 18.04.2026)

⁴³ Про електронні комунікації : Закон України 16 грудня 2020 р. № 1089-IX від URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text>

⁴⁴ UNESCO. Safe Learning Environments. Paris, 2021. URL: <https://www.unesco.org/en>

⁴⁵ World Bank. Safe Schools: Global Evidence. Washington, 2020.

personal data protection and information security are becoming increasingly important.

At the same time, the digital educational environment is being affected by new cyber threats, including phishing attacks, malicious links, manipulative content, and “deepfake” technologies, which necessitates a comprehensive approach to its protection and the integration of cybersecurity into the educational process.

In this context, the higher education system plays a key role in shaping digital ethics and ensuring academic integrity. Higher education institutions act as leading institutions in the formation of the moral and ethical values of students. Digital ethics, as a system of principles and norms of behavior in the digital environment, is becoming an important factor in the development of a responsible individual. At the same time, digital technologies create both new opportunities and new challenges for ensuring academic integrity, highlighting the need for the responsible use of information resources, respect for copyright, and the prevention of plagiarism.

The use of digital monitoring tools, particularly plagiarism detection software, is an important mechanism for supporting academic integrity. However, the development of a strong culture of ethical use of digital resources among students remains equally significant. In this regard, digital competencies have been defined as a mandatory component of state educational standards and integrated into all levels of the educational process.

Further analysis indicates that the digital transformation of education is accompanied by an increase in cyber risks. According to the State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine (CERT-UA), since 2022 there has been a significant increase in cyber incidents, particularly phishing attacks targeting governmental and educational resources^{46,47}.

Research by the Ministry of Digital Transformation of Ukraine (“Diya. Osvita”) shows that the level of digital literacy of teaching staff is 55-60%, which corresponds to the average level of digital competencies and is insufficient for full-fledged cyber risk management⁴⁸. This affects the ability to timely detect and prevent cyber threats in the educational environment.

Analytical data from UNICEF Ukraine confirms that 30-40% of children and adolescents have encountered online risks, and 20-30% have directly

⁴⁶ Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. CERT-UA. Офіційний вебсайт. URL: <https://cert.gov.ua/> (дата звернення: 18.04.2026).

⁴⁷ Міністерство освіти і науки України. Цифровізація освіти в Україні. URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/cifrovizaciya-osviti> (дата звернення: 18.04.2026).

⁴⁸ Міністерство цифрової трансформації України. Дія. Освіта: платформа цифрової грамотності. URL: <https://osvita.diia.gov.ua/> (дата звернення: 18.04.2026).

become victims of cyberbullying. At the same time, up to 60-70% of cases are not reported to adults, which complicates the response to incidents⁴⁹. According to StopSexting, over 50% of teenagers witness cyberbullying, indicating the high prevalence of aggressive digital behavior among young people⁵⁰.

The generalization of statistical data provides grounds to assert that Ukraine is undergoing active digitalization of education while simultaneously maintaining a high level of cyber risks. The main challenges remain the insufficient level of cyber literacy among educators, the lack of systematic cybersecurity policies in some educational institutions, as well as the widespread occurrence of cyberbullying and other forms of online threats among students. This necessitates the further development of digital culture, the integration of cybersecurity into the educational process, and the strengthening of teacher training.

2. Features of Forming a Culture of Using Digital Tools Among Future Teachers

2.1. The problem of forming and developing communication competence in students in conditions of oversaturation of the educational process with digital devices and distance education

The use of electronic educational environments, social networks, and messaging applications for communication between teachers/lecturers and students, as well as among students themselves, reduces the need for communication in real-life settings during face-to-face learning. In the context of distance education and predominantly electronic communication, modern youth demonstrate a lower level of developed communication skills (such as responding quickly during conversations or answering immediately without the opportunity to edit responses), emotional skills (such as expressing emotions without emojis, recognizing and understanding one's own emotions, identifying the emotions of others, and using nonverbal communication skills), tolerance, and other related abilities.

The authors of this study conducted several surveys and organized meetings with focus groups in order to investigate the level of development of communication competencies. A total of 51 students aged 14–19 from general secondary education institutions and pre-higher education institutions participated in the surveys.

The first stage of the research aimed to determine the level of self-assessment regarding participants' own communication competencies. An

⁴⁹ UNICEF Ukraine. Захист дітей в інтернеті та кібербулінг: аналітичні матеріали. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/> (дата звернення: 18.04.2026).

⁵⁰ StopSexting. Дослідження кібербулінгу серед підлітків в Україні. URL: <https://stop-sexting.in.ua/> (дата звернення: 18.04.2026).

adapted interpersonal communication questionnaire was used as the basis for the study. The questionnaire included statements such as: “It is easy for me to start a conversation with new people,” “I feel uncomfortable when I need to express my opinion in a group,” “I respect the opinions of others even if I disagree with them,” and similar statements. Respondents were asked to choose the response that best reflected their typical behavior from the following options: “not at all about me,” “rather no,” “difficult to say,” “rather yes,” and “completely about me.” The results were collected through a questionnaire created in Google Forms. The questions were designed in such a way as to determine the degree of objectivity with which students were able to evaluate themselves.

Approximately 72% of respondents believed that it was easy for them to start a conversation with unfamiliar people. Among them, 56.9% selected the response “rather yes,” while 15.7% chose “completely about me.” The results are presented in Figure 1.

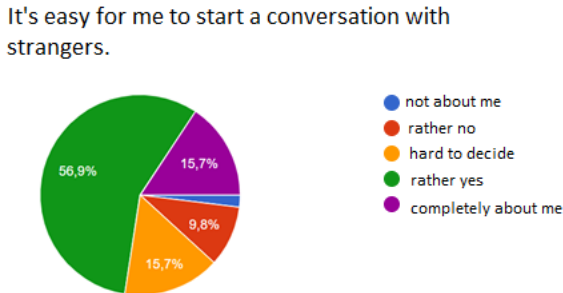


Fig. 1. Distribution of responses to the statement about whether it is easy for the respondent to start a conversation with new people

The survey was conducted in Ukrainian. Therefore, the figures present the original results. The translated version of the legend is shown alongside.

The next statement was “I feel uncomfortable when I have to express my opinion in a group” (Fig. 2). 25.5% of respondents believe that this statement is not about them at all, 35.3% – rather not about them, 27.5% of respondents found it difficult to decide on this issue, 9.8% chose the answer “rather yes”, and 1.9% believe that this statement fully corresponds to their reaction.

This demonstrates the opinion that the respondents do not experience difficulties when communicating with unfamiliar people or speaking in a group. At the same time, after conducting the questionnaire survey, we organized meetings with focus groups. Together with a teacher or lecturer, both face-to-face and online meetings were held during which participants were invited

to express their opinions regarding specific situations. The meetings were conducted by the teacher in a familiar classroom setting or online. One of the authors was also present. Examples of the tasks are provided below.

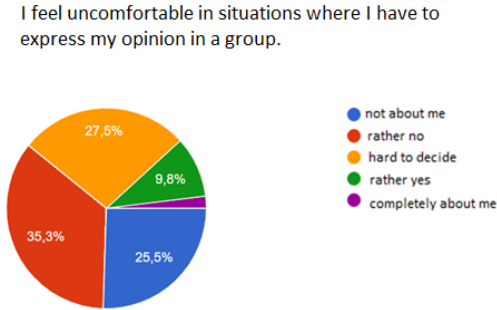


Fig. 2. Distribution of responses to the statement about whether one feels uncomfortable expressing one's opinion in a group

Example Task 1. During the preparation of a group project, one of the classmates/groupmates rarely expresses their opinion. However, this person always has good ideas, and all participants know this from previous experience. Due to their lack of activity, the other project participants consider them indifferent and do not involve them in discussions. Later, it becomes clear that the person is afraid of criticism and feels insecure within the group.

Questions for discussion:

1. How could the group help this person become more actively involved in the work?
2. If the group members do not know the participant well, how can such a situation be prevented?
3. When can it be assumed that a silent person has no ideas or is not interested?
4. Do such situations influence the success of teamwork?

Example Task 2. During a lesson, the teacher/lecturer was explaining a new topic but noticed that some pupils/students were sitting with crossed arms, avoiding eye contact, and constantly looking at their phones. After the lesson, the students said that the topic had been interesting, but the teacher concluded that they were not interested and unwilling to work.

Questions for discussion:

1. What role does nonverbal communication play in interaction?
2. Can gestures and facial expressions be misinterpreted?

3. How does nonverbal behavior influence mutual understanding between people?

In discussions of such tasks, active participation in different focus groups was demonstrated by only 10% to 15% of participants. Let us compare the results of self-assessment with the results observed in real situations. More than 60% of respondents stated that they did not feel uncomfortable expressing their opinions in a group (Figure 2). In addition, more than 60% reported that they could easily start conversations with unfamiliar people. However, no more than 15% actually participated in discussions within their groups.

At the end of the focus group meetings, we asked participants to explain why they did or did not take part in the discussions. In different groups, up to 40% noted that they found it difficult to formulate their opinions about the situations, did not feel a desire to communicate, or were unable to find arguments to support their viewpoints. Nevertheless, let us present several additional results from the questionnaire survey that had been conducted before the meetings and described above.

Approximately 59% of respondents disagreed with the statement: “I avoid situations where a lot of communication is required” (Figure 3).

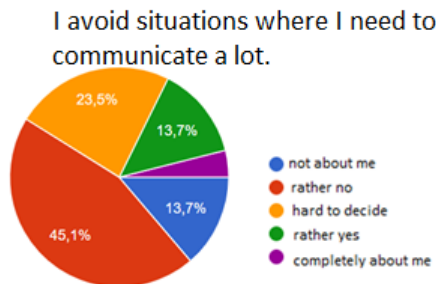


Fig. 3. Distribution of answers to questions about comfort with communication

More than 72% agreed with the statement “I can express my thoughts clearly and understandably.” More than 76% agreed with the statement “I can convincingly argue my point of view.” The results are presented in Figures 4 and 5.

The result of such a discrepancy is that young people tend to assess their communication skills less critically or respond in accordance with how they would like to be rather than how they actually are. Another possible explanation may be online communication. Indeed, when communicating via messaging

apps and social media comments, people often rely on established phrases. In addition, when writing messages, there is time for reflection, the stress of group presence is absent, and even a sent message can be edited. During online classes, students may keep their cameras turned off and stay in a familiar environment.

I can express my thoughts clearly and understandably.

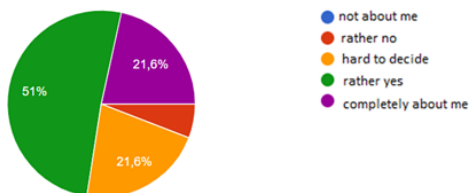


Fig. 4. Distribution of answers to the question about the ability to express one's thoughts clearly and understandably

I can convincingly argue my opinion.

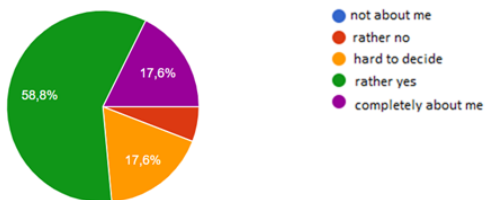


Fig. 5. Distribution of answers to the question about the ability to argue one's own point of view

In face-to-face communication in the street, at an educational institution, or in public places, there is a certain level of discomfort and the need to remain attentive. One must control much more than a single response: one's behavior, the surrounding environment, and maintain eye contact with the interlocutor. In addition to the above, we also believe that the large number of video materials on how to respond or behave correctly creates a general idea, but this is not supported by students' personal experience.

Thus, it can be stated that self-assessment of communication skills among young people aged 14 – 19 is somewhat overestimated. We consider the reason for this to be the lack of sufficient real-life communication experience and the excessive immersion in digital devices.

2.2. Psychological and pedagogical prerequisites for forming a culture of using digital tools

In light of the above research results, there are grounds to state that, in order to overcome such consequences of distance learning and the excessive use of digital environments, it is necessary to develop a culture of using digital tools in lessons during the training of future teachers of various subjects. In the classroom, it is important for a teacher to be able to encourage students to engage in discussion and to become active participants in the educational process. It is also essential for teachers to develop students' mental operations. This creates a foundation for a deeper understanding of reality and fosters critical thinking.

The use of digital technologies in lessons should be justified and purposeful. If there is a choice between using digital tools and creating conditions for active student engagement in communication and collaborative work in groups or pairs, preference should be given to the latter. This does not mean that digital tools should be excluded. Such an approach is impossible in today's information society. Rather, it means that digital tools should be used in a well-reasoned manner. It is necessary to seek a balance between engaging students in real-life communication and communication mediated by digital tools. Work with digital technologies can also be combined with active group collaboration, where both communicative and digital competencies are developed. Therefore, future teachers must possess well-developed digital and communication competencies, which are integral components of information culture. In scientific research, digital competence is considered as an integrative characteristic of a person, which includes not only knowledge and skills, but also motivational and value attitudes towards the use of technologies⁵¹. Accordingly, motivation is a system-forming factor of digital activity. Internal motivation is based on cognitive interest, the desire for self-development and awareness of the significance of digital technologies for personal and professional growth. Studies show that it is internal motivation that ensures sustainable and productive use of digital tools in educational activities⁵².

Instead, extrinsic motivation is determined by the requirements of the educational environment, the assessment system and social expectations. It is important in the initial stages of mastering digital technologies, but requires a gradual transition to intrinsic motivation to ensure a long-term effect.

Psychological and pedagogical research shows that the level of motivation is significantly influenced by factors such as self-efficacy, emotional attitude

⁵¹ Морзе Н. В., Глазунова О. Г., Буйницька О. П. Цифрова компетентність як умова модернізації освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. 2019. Т. 74, № 6. С. 1–17.

⁵² Лаврентьєва Г. П. Мотиваційні чинники використання цифрових технологій у навчанні здобувачів освіти. Освіта і розвиток обдарованої особистості. 2021. № 3. С. 28–34.

towards technology, level of digital anxiety and previous experience in using information and computer technologies⁵³. In particular, a high level of self-efficacy contributes to a more active use of digital tools in learning.

An important aspect of motivation formation is the creation of appropriate pedagogical conditions. These include: integration of digital technologies into the content of education, use of interactive methods, creation of situations of success, development of independence of education seekers and support of their research activity.⁵⁴ It is also important to highlight the significance of the digital educational environment, which provides access to resources, collaboration tools, and individualized learning pathways. Such an environment strengthens the motivational component through the practical orientation of learning activities.

In the context of the digital transformation of education, motivation is viewed as a dynamic construct that can change under the influence of pedagogical interventions and the organization of the educational process. Therefore, the task of educators is not only to form external incentives but also to develop an internal need for the use of digital technologies. Thus, motivation for the use of digital technologies is a fundamental psychological and pedagogical prerequisite for the formation of a culture of digital activity. Its development requires a comprehensive pedagogical impact aimed at fostering intrinsic motivation, increasing self-efficacy, and creating a supportive digital educational environment.

One of the key aspects of the teacher's role is the organization of effective communication with students in the digital environment. In distance learning conditions, traditional "teacher–student" interaction is transformed but does not lose its significance. On the contrary, it requires new approaches, including the use of modern learning platforms, video conferencing, interactive tools, and feedback mechanisms. The teacher must ensure not only knowledge transfer but also the maintenance of student motivation, the creation of a positive psychological climate, and conditions for active participation in the educational process.

Equally important is the consideration of factors influencing students' academic and psychological well-being in the digital environment. The teacher should monitor students' level of engagement, activity, and learning conditions, and adjust the educational process when necessary. The organization of group

⁵³ Хом'юк І. В. Психолого-педагогічні умови формування мотивації навчальної діяльності здобувачів освіти в умовах цифровізації. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. 2022. Вип. 85. С. 112–118.

⁵⁴ Гуржій А. М., Шишкіна М. П. Відкрите освітнє середовище і цифрова трансформація навчання. Інформаційні технології і засоби навчання. 2022. Т. 88, № 2. С. 1–14.

online meetings, interactive sessions, and informal communication contributes to maintaining social connections and preventing student isolation.

2.3. Methodological recommendations for the use of digital tools in the educational process

Awareness of the problem of excessive use of digital tools in lessons, everyday life, and leisure among modern Ukrainian students encourages the search for a balance between the use of digital devices and the acquisition of communicative experience outside the online environment. Such recommendations may be used in the training of future teachers. They also make it possible to combine different types of activities in the classroom.

1. Combine digital tools with traditional forms of learning: use not only online resources but also printed materials, oral discussions, pair and group work. Create conditions for the development of live communication even in a distance learning format by organizing discussions, oral responses, collaborative projects, and video meetings with active participant interaction.

Thus, written correspondence via traditional postal mail has already become something unusual. While textbooks previously used it as an analogy for electronic communication, today it is easier to explain the concept of correspondence through the example of email. Naturally, encouraging students to return to postal correspondence is not appropriate. However, the use of printed paper materials can shift attention and help students focus on a specific stage of the lesson. Discussion and engagement in oral communication contribute to the acquisition of real communicative experience. Discussion, oral responses, and essay writing without the use of generative language models are essential elements in the development of various components of communicative competence.

2. Limiting the duration of continuous screen time in accordance with the age characteristics of learners, alternating digital activities with physical breaks and practical tasks.

This statement is self-evident and is supported by the requirements and recommendations of the sanitary regulations.

3. Selecting digital tools based on the principle of appropriateness: using only those tools that truly improve understanding of the material rather than overloading the learning process with unnecessary functions.

This is an important professional skill of a teacher. It involves the conscious use of digital tools with the aim of making the educational process more effective. The focus should not be on the popularity of a digital tool or external requirements to use electronic environments, but rather on determining its appropriateness with a clear purpose: simplifying comprehension, increasing

student engagement, shifting attention, or explaining the functioning principle of a digital tool.

4. During distance learning, ensuring a clear structure of lessons: defining time limits, task instructions, and communication channels to reduce information overload.

When face-to-face classes are not possible, consultation may be conducted in real time. It is important to emphasize that messaging applications should not replace communication, but rather complement asynchronous consultations with real-time interaction, both online and face-to-face when possible.

5. Fostering a culture of digital interaction: teaching students digital etiquette, rules of online communication, and responsible use of devices during lessons.

The BYOD (Bring Your Own Device) method has already become an established teaching approach and is effective when used appropriately. Its application within lessons as part of the overall learning process can be beneficial.

6. Using interactive digital tools in moderation, avoiding the simultaneous use of a large number of platforms, tabs, and services that reduce attention span.

Attention is maintained through the alternation of teaching methods, forms of work, and learning tools. Therefore, alternating between digital tools and active group work can contribute to effective learning. It is important to pay attention to the psycho-emotional state of learners, as excessive use of digital devices may cause fatigue, reduced motivation, and feelings of isolation. It is recommended to follow digital hygiene practices: taking breaks during work, ensuring proper lighting, maintaining correct posture, and limiting gadget use beyond learning needs.

7. Conducting regular reflection on the effectiveness of digital tool usage in order to determine which instruments support learning and which only create “digital noise.” Focused attention on this issue among students will help form a responsible attitude toward their own mental and physical health.

CONCLUSIONS

Digital culture in the educational process is a complex characteristic of an individual that combines knowledge, skills, values, and behavioral practices necessary for effective, safe, and ethically responsible activity in the digital environment. Creating favorable conditions for the formation of students’ digital culture is the responsibility of the teacher/lecturer. For this purpose, during their professional training, future educators must understand the need for conscious use and selection of digital tools in their future professional activities.

The use of digital devices occurs in all spheres of human life: in learning, work, everyday activities, and leisure. As a result, each person experiences

a sense of digital overload. Among young people, this feeling is not yet fully developed; therefore, it is the future teacher who is responsible for forming a culture of digital tool usage among students. This includes selecting appropriate devices or software, adhering to online communication etiquette, and minimizing the negative effects of digitalization.

Awareness of the problem of excessive use of digital tools in lessons, everyday life, and leisure among modern Ukrainian students encourages the search for a balance between the use of digital devices and the acquisition of communicative experience outside the online environment. Therefore, the following methodological recommendations may be used in the training of future teachers:

1. Combine digital tools with traditional forms of instruction. Create conditions for the development of live communication in both face-to-face and distance learning formats.

2. Limit the duration of continuous screen time according to the age characteristics of learners, alternating digital activities with physical breaks and practical tasks.

3. Select digital tools based on the principle of appropriateness: use only those that truly enhance understanding of the material rather than overloading the learning process with unnecessary functions.

4. During distance learning, ensure a clear structure of lessons: define time limits, task instructions, and communication channels to reduce information overload.

5. Foster a culture of digital interaction: teach students digital etiquette, rules of online communication, and responsible use of devices during lessons.

6. Use interactive digital tools moderately, avoiding the simultaneous use of a large number of platforms, tabs, and services that reduce concentration.

7. Conduct regular reflection on the effectiveness of digital tool usage in order to identify which instruments support learning and which only create “digital noise.”

SUMMARY

Modern school education widely uses digital tools and environments that support lesson preparation and instruction. However, their use is sometimes formal or overly dependent on online platforms, which may reduce rather than improve learning effectiveness. In some cases, insufficient attention to academic integrity, digital ethics, and critical evaluation of information accompanies teachers’ use of digital technologies. This highlights the need to purposefully develop a culture of responsible digital tool use in education. Future teachers should not only master digital technologies but also continuously develop

these competencies and foster them in students. Higher education institutions continue to update relevant courses aimed at improving methodological competence in digital pedagogy. The relevance of this issue is sustained by the rapid development of digital technologies, including new software, platforms, and artificial intelligence.

Practical significance: The study supports teacher education by guiding the development of courses on the effective and ethical use of digital tools. It promotes balanced integration of technology in teaching and contributes to students' digital literacy, academic integrity, and critical thinking.

Bibliography

1. Академічна доброчесність. МОН України. URL: <https://mon.gov.ua/tag/akademichna-dobrochesnist> (дата звернення: 18.04.2026).
2. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти. Київ : Атіка, 2008. 684 с.
3. Биков В. Ю., Спірін О. М. Цифрові технології у професійній освіті: сучасні тенденції. Київ : ІТЗН НАПН України, 2023. 210 с.
4. Воронова Н. Професійна етика і культура використання цифрових архівів та інтерактивних платформ у підготовці майбутнього вчителя історії. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. Вип.23(1). 2025. С. 17-30. <https://doi.org/10.31865/2414-9292.23.2025.334007>.
5. Гринько В. Використання цифрових технологій для формування у майбутніх учителів умінь ххі століття. *Молодь і ринок. Науково-популярний журнал*. Вип. 5 (172). 2019. С. 56-62. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2019.171023>.
6. Гуржій А. М. Цифрова компетентність як складова професійної підготовки фахівця. *Освіта і суспільство*. 2018. № 2. С. 45-50
7. Дундар О. Формування цифрової культури майбутніх учителів: стратегічний вектор закладів вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 219. 2025. С. 497-500. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-497-500>.
8. Жалдак М. І. Інформаційні технології в освіті : навч. посіб. Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. 320 с.
9. Закони та законодавчі акти України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/> (дата звернення : 18.04.2026)
10. Морзе Н. В. Цифрова компетентність педагогічних працівників. Київ : Київський університет імені Бориса Грінченка, 2018. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/> (дата звернення: 13.04.2026).
11. Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Цифрові освітні ресурси у сучасній школі. Київ : Університет, 2022. 180 с.

12. Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти. Академічна доброчесність. URL: <https://naqa.gov.ua/akademichna-dobrochesnist/> (дата звернення: 18.04.2026).
13. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: проблеми впровадження та використання. Київ : ПТЗН НАПН України, 2017. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/ict/> (дата звернення: 13.04.2026).
14. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні технології як чинник трансформації освіти. Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2013. 412 с.
15. Про освіту : Закон України від 5 вересня 2017 р. № 2145-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 18.04.2026).
16. Шевченко Л. П. Інформаційна етика: теоретико-методологічні засади. Київ : Інститут філософії НАН України, 2015. 312 с.
17. Шишкіна М. П. Хмароорієнтовані системи відкритої освіти : монографія. Київ : ПТЗН НАПН України, 2016. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/ccelab/> (дата звернення: 13.04.2026).
18. Яцюк С. Хомяк М. Юнчик В., & Чепрасова Т. Методика використання цифрових освітніх ресурсів у процесі підготовки майбутніх учителів інформатики. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. № 16. 2021. С. 15–25. <https://doi.org/10.31865/2414-9292.16.2021.246263>
19. UNICEF Ukraine. Захист дітей в інтернеті та кібербулінг: аналітичні матеріали. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/> (дата звернення: 18.04.2026).
20. StopSexting. Дослідження кібербулінгу серед підлітків в Україні. URL: <https://stop-sexting.in.ua/> (дата звернення: 18.04.2026).
21. Deborah G. Johnson. *Computer Ethics*. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2009
22. European Commission. The Digital Competence Framework for Citizens (DigComp 2.2). Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp_en (дата звернення: 13.04.2026)
23. Harry Rheingold. *Net Smart: How to Thrive Online*. Cambridge : MIT Press, 2012. 344 p.
24. Henry Jenkins. *Convergence Culture: Where Old and New Media Collide*. New York: New York University Press, 2006. 308 p
25. Jenkins Henry. *Convergence Culture: Where Old and New Media Collide*. New York : NYU Press, 2006. 308 p.
26. Lev Manovich. *The Language of New Media*. Cambridge: MIT Press, 2001. 354 p

27. Manuel Castells. The Rise of the Network Society. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2010. 597 p.
28. Michael J. Quinn. Ethics for the Information Age. 7th ed. Boston: Pearson, 2019.
29. O'Reilly T. What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. URL: <http://www.oreilly.com>
30. Siemens G. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. 2005. URL: <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm> (дата звернення: 13.04.2026).
31. UNESCO. Academic Integrity. URL: <https://www.unesco.org/en/education/academic-integrity> (дата звернення: 18.04.2026).
32. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. 2021. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>. Michael J. Quinn. Ethics for the information age (7th ed.). 2019. Pearson.
33. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris, 2021. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>
34. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris, 2021. URL: <https://unesdoc.unesco.org>
35. UNESCO. Safe Learning Environments. Paris, 2021. URL: <https://www.unesco.org/en>

Information about the authors:

Dehtiarova Nelia Valentynivna,

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Informatics
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko
87, Romenska street, Sumy, Ukraine

Onishchenko Marharyta Leonidivna,

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor, Lecturer of the Highest Category,
Sumy Professional College of Economics and Trade,
37, Troitska street, Sumy, Ukraine

**ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ЦИФРОВОЇ
КОМПЕТЕНТНОСТІ СУЧАСНОГО ВЧИТЕЛЯ**

Петренко С. І.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-696-6-5>**ВСТУП**

Виклики сучасного темпу життя змушують освітню галузь реагувати на вимоги нових умов. Динамічний розвиток цифрових технологій зумовив соціальний запит на модернізацію педагогічної освіти, мета якої – підготовка вчителя, який має ґрунтовні фахові знання та впевнено володіє ІКТ, здійснює свою професійну діяльність, глибоко усвідомлюючи педагогічний обов'язок і соціальну відповідальність. Сучасна школа гостро потребує вчителя, який має сформовану інформаційно-цифрову компетентності, що дозволяє йому урізноманітнити форми проведення навчальних занять, методи подання початкового матеріалу, і як результат, більш ефективно організувати освітній процес.

Необхідність модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців на засадах інноваційного розвитку окреслена у концепції нової української школи, концепції розвитку педагогічної освіти, професійних стандартах за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти», «Вчитель закладу загальної середньої освіти», Законах України «Про освіту», «Про вищу освіту».

Теоретичний аналіз нормативних документів, наукових джерел, вивчення практичного досвіду учителів, аналіз стану підготовки студентів педагогічних університетів дали змогу виявити низку суперечностей, зокрема між:

- потребами суспільства в компетентних учителях, які володіють сучасними цифровими технологіями, та реальним станом сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у педагогічної освіти;
- усвідомлення важливості формування інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у процесі фахової підготовки та недостатнім теоретичним обґрунтуванням цього процесу;

– необхідністю розвитку і вдосконалення змісту інформаційно-цифрових компетентностей з урахуванням динамічних змін суспільства та недостатньою адаптацією освітніх програм підготовки фахівців для формування інформаційно-цифрової компетентності.

Мета дослідження полягає в теоретичному визначенні структури та змісту інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у процесі фахової підготовки.

Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- Визначити структурні компоненти інформаційно-цифрової компетентності учителя.
- Визначити критерії, показники та рівні сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя.

Для розв'язання поставлених завдань застосовано теоретичний аналіз, систематизація та узагальнення наукових, нормативних джерел та навчально-методичної літератури для розуміння сутності та складових поняття «інформаційно-цифрова компетентність», обґрунтування етапів формування інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів, критеріїв, показників та рівнів її сформованості.

Основні результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення теорії і практики вищої професійної освіти майбутніх учителів, організації самостійної, індивідуальної роботи, програм виробничих практик, у системі підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників, у підготовці посібників, програм навчальних дисциплін.

1. Структура та зміст інформаційно-цифрової компетентності сучасного вчителя

Концепція нової української школи (2016), концепція розвитку педагогічної освіти (2018), професійні стандарти за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти» (2020), «Вчитель закладу загальної середньої освіти» (2024), визначають серед пріоритетів для української освітньої галузі розвиток та впровадження сучасних ІКТ, які забезпечують удосконалення освітнього процесу, доступність та ефективність освіти, підготовку молодого покоління до життєдіяльності в динамічних умовах інформаційного суспільства.

Концепція нової української школи¹ термін «інформаційно-цифрова компетентність» трактує як впевнене, і водночас критичне застосування

¹ Нова українська школа. Концептуальні засади реформування середньої школи. Міністерство освіти і науки України. 2016.

інформаційно-комунікаційних технологій для створення, пошуку, обробки, обміну інформацією на роботі, в публічному просторі та приватному спілкуванні. Інформаційна й медіа-грамотність, основи програмування, алгоритмічне мислення, робота з базами даних, навички безпеки в інтернеті та кібербезпеці. Розуміння етики роботи з інформацією (авторське право, інтелектуальна власність тощо).

У професійних стандартах за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти»² та «Вчитель закладу загальної середньої освіти»³ інформаційно-цифрова компетентність трактується як здатність орієнтуватися в інформаційному просторі, здійснювати пошук і критично оцінювати інформацію, оперувати нею в професійній діяльності, ефективно використовувати наявні та створювати (за потреби) нові електронні (цифрові) ресурси, використовувати цифрові технології в освітньому процесі.

Європейською науковою спільнотою було розроблено рамку цифрової компетентності для освітян (DigCompEdu)⁴, в основу якої покладено концептуальну модель, що детально описує компетентність вчителя у галузі ІКТ. У роботі зазначено, що інформаційно-цифрова компетентність педагога проявляється в здатності використовувати цифрові технології не лише для покращення освітнього процесу, а й для професійної взаємодії з колегами, учнями, батьками та іншими зацікавленими сторонами, для особистого професійного розвитку, а також для загального блага, безперервних інновацій та в організації професійної діяльності вчителя.

Науковим колективом вітчизняних науковців і практиків під керівництвом Морзе Н, було розроблено опис цифрової компетентності педагогічного працівника (OpenEdu)⁵, який базується на європейських стандартах (DigCompEdu). Автори вважають, що інформаційно-цифрова компетентність педагогічного працівника – це складне динамічне цілісне інтегративне утворення особистості, яке є його багаторівневою професійно-особистісною характеристикою в сфері цифрових технологій і досвіду їхнього використання, що обумовлене з одного боку потребами та вимогами цифрового суспільства, а з іншого появою цифрового освітнього простору, який змінює освітню (навчально-виховну) взаємодію

² Професійний стандарт «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти» Наказ Міністерства освіти і науки України №2730. 23.12.2020 р.

³ Професійний стандарт «Вчитель закладу загальної середньої освіти» Наказ Міністерства освіти і науки України. №1225 29.08.2024 р

⁴ Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu) URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en

⁵ Morze, N.; Bazeliuk, O.; Vorotnikova, I.; Dementievska, N.; Zakhar, O.; Nanaieva, T.; Pasichnyk, O.; Chernikova, L. (2019) Опис цифрової компетентності педагогічного працівника. OpenEdu.

всіх її учасників, характеризується широким залученням мережі Інтернет, цифрових систем зберігання та первинної систематизації даних, а також автоматизованих цифрових аналітичних систем (на основі нейромереж та штучного інтелекту), що дозволяє ефективніше здійснювати професійну діяльність та водночас вимагає (можливо – стимулює або потребує) постійного професійного саморозвитку.

Інша група українських експертів, на основі європейської концептуально-еталонної моделі цифрових компетентностей для громадян DigComp2.1, запропонувала рамкову структуру цифрових компетентностей для українських учителів та інших громадян⁶. Автори цього документу під інформаційно-цифровою компетентністю розуміють інтегральну характеристику особистості, яка динамічно поєднує знання, уміння, навички та ставлення до використання цифрових технологій для спілкування, власного розвитку, навчання, роботи, участі у суспільному житті, відповідно до сфери компетенцій, належним чином (безпечно, творчо, критично, відповідально, етично).

Узагальнюючи рекомендації концептуальних документів і наукові праці провідних дослідників, приходимо до висновку, що інформаційно-цифрова компетентність учителя – це інтегративна, динамічна якість особистості вчителя, яка характеризується глибокою обізнаністю у предметній сфері, володіє знаннями у сфері дидактики, має здатність відповідального використання засобів ІКТ для творчої діяльності учителя та інших видів освітньої діяльності, безпечного і відповідального вирішення повсякденних задач і мати постійну свідому необхідність отримувати нові знання та новий досвід для удосконалення професійних умінь і навичок.

Детальний аналіз нормативних документів і наукових праць українських та європейських дослідників дозволяє зробити висновок, що інформаційно-цифрова компетентність це багатозарова і різновекторна якість особистості на яку накладаються фактори професійного розвитку. Багатозаровість інформаційно-цифрової компетентності проявляється у розчленуванні її на певні аспекти:

- **Технічний.** Уміння безпечно працювати з доступними технічними засобами і відповідним системним програмним забезпеченням.
- **Інформаційний.** Здатність до пошуку, аналізу, критичної оцінки та доречного використання інформації з різних джерел.
- **Комунікаційний.** Навички ефективного та безпечного використання цифрових платформ для комунікації та спільної роботи.

⁶ Рамка цифрової компетентності для громадян України (DigComp 2.1). Міністерство цифрової трансформації України.

- **Фаховий.** Уміння інтегрувати інформаційно-цифрові інструменти у методики навчання, адаптувати методичні прийоми до навчання з використанням цифрових інструментів, що стимулюють активну участь учнів в освітньому процесі.

Формування кожного із виділених аспектів у майбутніх учителів має відбуватися в декілька послідовних етапів взаємопов'язаних між собою: I етап – початковий; II етап – предметний; III етап – фахово-педагогічний. Кожному із етапів властива відповідну когнітивну складову і відповідні уміння і навички, розглянемо їх.

I (початковий) етап передбачає:

- володіння різними технічними засобами (комп'ютером, мобільними пристроями) їх базовим системним програмним забезпеченням на рівні користувача;

- володіння базовим сервісним програмним забезпеченням на рівні користувача;

- володіння технологіями опрацювання і представлення текстової, числової та графічної інформації;

- уміння працювати в середовищі текстового процесора (створювати, редагувати і формувати документ, вставляти об'єкти, таблиці, схеми, формули, перевіряти орфографічну і синтаксичну правильність тексту, та ін..);

- уміння працювати з редактором презентацій (створювати презентацію, редагувати і формувати елементи презентації, встановлювати параметри слайдів, вставляти об'єкти, таблиці, схеми, формули, графіки, настроювати панель інструментів, демонструвати презентацію);

- уміння працювати з табличним процесором (створювати і опрацьовувати таблиці, автоматизувати процес обчислень, аналізувати і вибирати дані, будувати діаграми і графіки);

- мати технологічні уміння використання мультимедійних програм і систем (запускати мультимедійні файли, створювати плейлисти для програвання);

- мати стійкі практичні навички використання систем телекомунікації;

- уміння безпечної і відповідальної роботи в мережі Інтернет (реєструватися в онлайн сервісах, створювати облікові записи, відправляти і одержувати електронну пошту, здійснювати пошук необхідної інформації з достовірних джерел, використовувати можливості і ресурси дистанційного зв'язку)

- уміння здійснювати інформаційний пошук в електронних бібліотеках та комп'ютерних мережах;

- уміння коректно ставити завдання в середовищі сервісів штучного інтелекту.

II (предметний) етап передбачає:

- формування знань і умінь добирати та використовувати програмне забезпечення відповідної наукової сфери, спрямування для абстрактно-формульного, графічного, чисельного аналізу навчальних прикладів та моделей реальних об'єктів;

- формування навичок застосування інформаційних систем, як дидактичних засобів або технічних засобів навчання;

- володіння методикою застосування предметно-орієнтованих прикладних систем в освітньому процесі;

- уміння наводити приклади і контрприкладів з використанням інформаційних технологій;

- уміння здійснювати комп'ютерне моделювання та чисельні експерименти для перевірки гіпотетичних тверджень;

- формування навичок колективної роботи з застосуванням цифрових засобів;

- формування знань і умінь роботи в сервісах штучного інтелекту з питань відповідної наукової сфери.

III (фахово-педагогічний) етап передбачає:

- уміння організувати свою працю, володіти сучасними методами і засобами збирання, зберігання, опрацювання, подання, передавання інформації і представлення інформації з використанням цифрових технологій;

- уміння добирати засоби та методи навчання з використанням комп'ютерної техніки;

- впевнене володіння методиками використання прикладних програм загального використання для підтримки освітнього процесу;

- впевнено володіти платформами для організації дистанційного освітнього процесу;

- уміння використовувати цифрові засоби для діагностики та аналізу навчальних досягнень учнів;

- уміння інтегрувати в план вивчення навчального матеріалу традиційні та нові інформаційні технології;

- використовувати цифрові засоби для вивчення учнів і учнівських колективів;

- використовувати програмні засоби для опрацювання результатів проведених психологічних, педагогічних і методичних досліджень;

- використовувати сервіси штучного інтелекту для опрацювання і аналізу результатів психологічних, педагогічних і методичних досліджень.

Виділені основні етапи при формуванні інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя: I етап, на якому формуються загальні знання уміння та певний досвід використовувати текстові і табличні процесори, графічні редактори, редактори презентацій, мультимедіа програвачі, пошуку інформації в мережі Інтернет, використання електронної пошти, платформ дистанційного зв'язку, соціальних мереж і середовищ штучного інтелекту. Другий етап, на якому передбачено формування знань та умінь застосувати програмне забезпечення відповідної сфери наукової діяльності.

III етап передбачає формування загально-методичних знань, умінь та напрацювання певного досвіду застосовування середовищ дистанційного навчання, діагностики навчальних досягнень, методик дослідження та аналізу різних аспектів педагогічної роботи та наявність методичних навичок використання інформаційно-цифрових і певних технічних умінь.

Графічно когнітивне наповнення етапів формування ІКТ-компетентності учителя математики представлено у вигляді схеми на рис. 1.

З метою успішного формування інформаційно-цифрової компетентності у майбутніх учителів вважаємо за потрібне виділити п'ять основних компонентів ІКТ-компетентності: мотиваційний, когнітивний, діяльнісний, рефлексійний і комунікативний (рис. 2).

Кожен із виділених компонентів здійснює певний вплив на швидкість і якість формування кожного аспекту інформаційно-цифрової компетентності на кожному із відповідних етапів. Тому є необхідність проаналізувати кожен компонент детально.

Компонент *мотивації*. Психолого-педагогічні дослідження показали важливу роль мотиваційної складової в ефективності діяльності людини. Проблему впливу мотивації на навчальну діяльність досліджували Е. Дісі (Deci E.), Р. Райн (Ryan R.), А. Маслоу (Maslow A.), З.Р. Кісіль, Д.В. Швець, В.А. Семиченко та ін.

Аналіз їх робіт дозволяє стверджувати, що мотивація – складна, багатоаспектна категорія, яка на даний час немає серед науковців однозначного тлумачення.

Основоположник теорії мотивації Абрахам Маслоу вважав, що під терміном «мотивація» зазвичай розуміють спонукання до задоволення потреби, прагнення заповнити якусь нагальну потребу⁷.

Едвард Дісі та Річард Райан розглядають мотивацію як найбільш яскравий прояв позитивного потенціалу людської природи, що являє

⁷ Abraham H. Maslow. *Motivation and Personality* (2nd ed.) N.Y.: Harper & Row, 1970;.

собою вроджену тенденцію прагнути до новизни і складних завдань, розширювати і тренувати свій творчий хист, досліджувати і вчитися⁸.

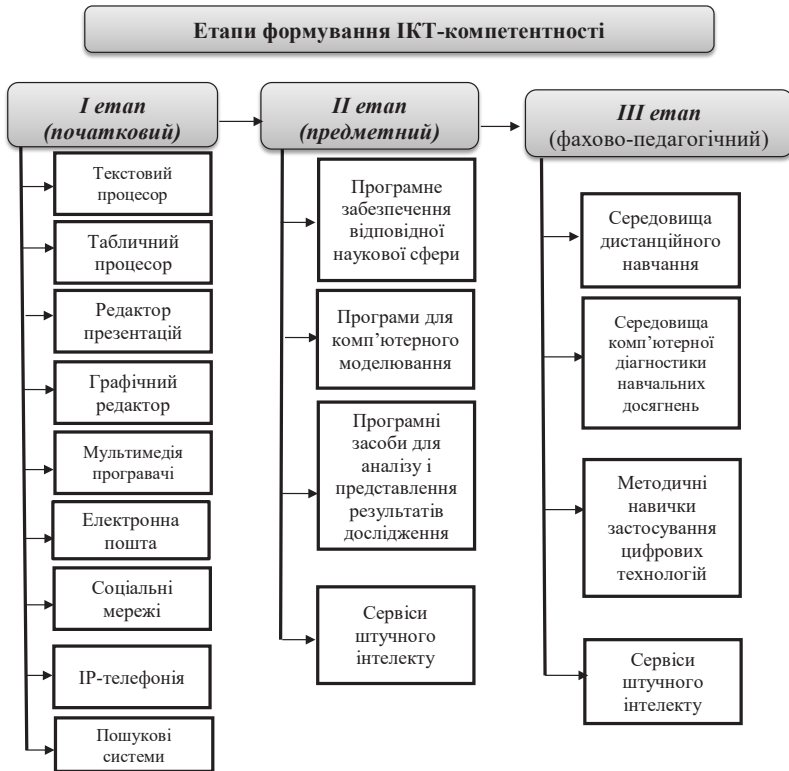


Рис. 1. Когнітивне наповнення етапів формування ІКТ-компетентності майбутнього учителя

Кісіль З., Швець Д. відзначають, що мотивація – це процес свідомого вибору людиною того або іншого типу поведінки, обумовленої комплексним впливом зовнішніх (стимули) і внутрішніх (мотиви) чинників. Людина, усвідомлюючи завдання, що ставляться перед нею, і знаючи ту винагороду, яку вона може одержати за їхнє вирішення, зіставляє це зі своїми потребами, можливостями і здійснює певну діяльність⁹.

⁸ Deci E.L., Ryan R.M. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development and health. Canadian Psychology,

⁹ Кісіль З.Р., Швець Д.В. Мотивація діяльності людини:

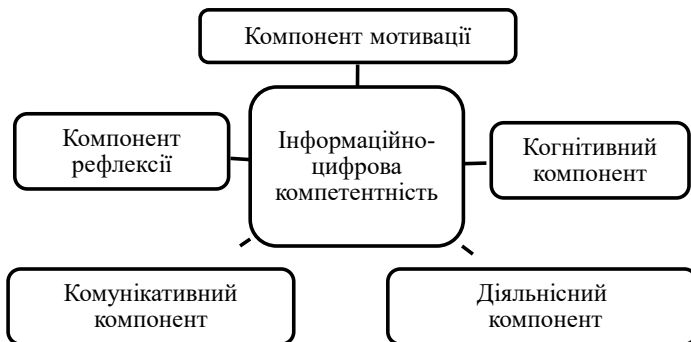


Рис. 2. Структура ІКТ-компетентності майбутнього учителя

Семиченко В. відзначає, що поняття мотивації використовується в кількох значеннях:

- як наявність певної системи факторів, які спонукають до відповідної активності, сукупність причин, які спонукають людину до дії або бездіяльності в різних ситуаціях;
- як усвідомлене використання системи збудників, які сприяють активізації певних дій;
- як процес розгортання певної системи збудників у структурі відповідної діяльності¹⁰.

Аналіз даних висловлювань дозволяє зробити висновок, що феномен мотивації може проявлятися, як свідомо, так і не свідомо, причому в значній палітрі людської діяльності. Ми в роботі звертаємося до однієї з її складових – мотивації навчальної діяльності. Більшість науковців виділяють в ній наступні характерні ознаки:

- інтегрована якість особистості;
- усвідомлене спонукання до дії, яке керується вольовими процесами;
- одна із головних умов до системної організації розумової діяльності;
- рушійна сила творчих процесів;
- така, що може бути сформованою і керуватися людиною.

У контексті нашого дослідження мотиваційна складова інформаційно-цифрової компетентності майбутнього вчителя характеризує мотиви, цілі, необхідність у свідомому і цілеспрямованому вивченні можливостей технічних, програмних та мережевих середовищ та засобів, самовдосконаленні, мотивів та потреб саморозвитку в майбутній професійній діяльності учителя, усвідомленні значущості застосування

¹⁰ Семиченко В.А. Проблеми мотивації поведінки і діяльності людини.

цифрових і комунікаційних технологій у педагогічній практиці, творчому підході до будь-яких видів власної діяльності, постійному прагненні до удосконалення методик застосування програмних засобів у навчанні. Цей компонент передбачає присутність стійкого інтересу до новинок інформаційних технологій у професійній сфері, необхідності набуття нових знань, в освоєнні ефективних навичок і способів організації інформаційної діяльності.

Мотиваційна складова включає професійні потреби займатися педагогічною діяльністю, яка передбачає планування та використання предметноорієнтованих програмних засобів для досягнення освітніх результатів, проводити контролюючі заходи з використанням ІКТ, використовувати засоби цифрові технології для свого професійного розвитку, контактувати з експертами і співпрацювати з іншими педагогами. Цим компонентом виражається не лише прагнення до застосування цифрових технологій в межах традиційного освітнього процесу, а й у потребі використовувати такі засоби у інших сферах стосовно професійної діяльності.

Мотиваційний компонент характеризує стійке бажання постійно вдосконалювати індивідуальну загально педагогічну та методичну підготовку стосовно впровадження інформаційних технологій в освітній процес, систематично цікавитися новими версіями доступних програмних середовищ, новими цифровими продуктами та їх можливостями і доцільністю їх застосування в освітньому процесі. Сформованість професійної мотивації і визначає ставлення до своєї роботи майбутнього фахівця та передбачає повне використання можливостей та здібностей, і відображає позитивне ставлення до професії вчителя.

Мотиваційний компонент забезпечує формування необхідних у педагогічній професії рис: активність, наполегливість, налаштованість на результат, ініціативність, дбайливість, працездатність, самостійність, уміння керувати колективом.

Детальніше, мотиваційна складова інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя включає:

- пізнавальний інтерес до проблеми використання цифрових технологій в освітньому процесі;
- усвідомлене бажання, готовності і доцільності залучати цифрові технології у процес навчання;
- усвідомлення необхідності створення власних методичних доробок;
- мотивацію до оволодіння новими версіями існуючого програмного забезпечення;
- необхідність постійно спілкуватися з колегами й експертами в галузі використання цифрових технологій в освіті;

- формування сукупності професійних якостей характеру:
- активність – пропагувати використання цифрових технологій у практиці роботи школи;
 - наполегливість – залучення всіх доступних ресурсів для використання цифрових технологій в освітньому процесі школи;
 - налаштованість на результат – залучення доступних ресурсів для отримання результату;
 - ініціативність – активне й доцільне використання цифрових технологій у роботі учителя;
 - дбайливість – бережливе ставлення до технічних засобів навчання;
 - працездатність – ефективно використовувати свій робочий час;
 - самостійність – усвідомлено приймати рішення і нести за них відповідальність;
 - уміння керувати колективом – налаштовувати учнівський і вчительський колективи на ефективне використання ІКТ в освітньому процесі.

Когнітивний (пізнавальний) компонент. Когнітивний компонент є фундаментальним і одним із визначальних при формуванні інформаційно-цифрової компетентності. Він закладає основу, тому що в цьому компоненті формуються знання, поняттєвий апарат, теоретичні основи технологічних умінь і навичок, що дозволяють здобути певний досвід застосування здобутих знань в практичній діяльності.

Когнітивний компонент інформаційно-цифрової компетентності вчителя характеризується сформованою системою предметних, психолого-педагогічних, методичних та технічних знань про шляхи, інструментарій та принципи обробки інформації і роботи з інформаційними об'єктами, використання ІКТ в освітньому процесі, рівнем володіння цифровими засобами та свідомим і методично доцільним їх застосуванням у майбутній професійній діяльності.

Важливою характеристикою когнітивного компонента інформаційно-цифрової компетентності є методичне мислення, яке проявляється в умінні розпізнати, прогнозувати та моделювати педагогічні ситуації, що дозволяє передбачити можливі результати та уникнути негативного розвитку подій. Розвинуте методичне мислення передбачає наявність високого рівня теоретичних знань, нестандартного, творчого мислення і досвіду застосування цифрових засобів у різних ситуаціях.

Когнітивна складова містить систему знань у відповідній науковій сфері, які забезпечують вільне володіння навичками пошуку, обробки, передачі і представлення інформації та роботи з інформаційними об'єктами, які відповідно впливають на способи й методи вдосконалення професійних

знань, умінь і досвіду. Рівень розвитку когнітивного компонента визначається інформаційною культурою та системністю знань у професійній сфері, які впливають на забезпечення творчого підходу в професійній діяльності.

Діяльнісний компонент. Діяльнісний компонент дозволяє реалізувати в практичній площині отримані знання і набути певний практичний досвід. В широкому філософському змісті категорія діяльність представляє собою форму активності, що характеризує здатність людини чи пов'язаних з нею систем бути причиною змін у бутті. Ці зміни можуть стосуватися речового та енергетичного статусу об'єктів або їх інформаційного потенціалу¹¹.

Великий тлумачний словник сучасної української мови під редакцією В. Бусела трактує діяльність як застосування своєї праці до чого-небудь або як працю, дії людей у якій-небудь галузі¹².

Гончаренко С. вважав, що діяльність – це спосіб буття людини у світі, здатність її вносити в дійсність зміни; засіб реалізації мети¹³.

Психологічна наука виділяє структурні елементи цього процесу: мотив, мета, спосіб (засіб) і результат¹⁴.

Підсумовуючи вище наведені визначення, можна вважати, що діяльність – це усвідомлена, цілеспрямована активність мотивованої людини спрямована на створення матеріальних або інтелектуальних продуктів доступними їй способами і засобами. Головною рушійною силою діяльності є мотив, а результатом – продукт. Продуктом діяльності людини може стати матеріальний або інтелектуальний об'єкт в тому числі й здобуті знання, уміння, навички та досвід.

Процес досягнення результату при формуванні інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів математики представити в вигляді схеми на рисунку 3.

Приведена схема підкреслює, що результат (знання, уміння, навичка і досвід необхідні для професійної самореалізації) здобувається за вірно вибраної мотивації і поставленої мети через посередництво діяльності, чим пов'язує компонент мотивації і діяльнісний компонент.

Діяльнісний компонент характеризується сукупністю практичних умінь та навичок, які забезпечують активне застосування інформаційно-комунікаційних засобів, програмних продуктів і мережевих ресурсів у освітній діяльності сучасного учителя як засобів пізнання і розвитку інформаційно-цифрової компетентності, самовдосконалення і творчості.

¹¹ Філософський енциклопедичний словник / Національна академія наук України. Інститут філософії імені Г.С.Сковороди. Київ. Абрис, 2002. 744 с.

¹² Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.)

¹³ Гончаренко С.У. Український педагогічний словник

¹⁴ Словник паронімів української мови / [уклад. Д. Г. Гринчишин, О. А. Сербенська]..

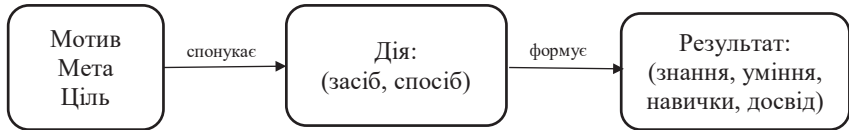


Рис. 3. Схема процесу діяльності

Головною характеристикою діяльнісного компоненту інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя є сформовані уміння застосування цифрових технологій в освітньому процесі, здобутий достатній практичний досвід для професійної діяльності учителя в галузі застосування цифрових технологій. Також важливі сформовані методичні навички стосовно визначення доцільності застосування на різних типах уроків, як специфічних програмних продуктів відповідної наукової сфери, так і загальнодоступних програмних продуктів.

Комунікативний компонент. Характеристика комунікативного компоненту інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів потребує верифікації термінів «комунікативний» та «комунікаційний».

За визначенням з Великого тлумачного словника сучасної української мови під редакцією В. Бусела категорія «комунікативність» визначається як здатність до спілкування, контактів між ким-небудь, а «комунікаційний» стосується – шляхів сполучення, ліній зв'язку.

У словнику паронімів української мови вказано на відмінність тлумачень цих слів: комунікативний – стосується комунікації як спілкування, обміну інформацією; комунікаційний – стосується шляхів сполучення, транспорту, ліній зв'язку.

У словнику іншомовних слів під редакцією О. Мельничука вказується на латинське походження слова комунікація (communico) й утворених від нього прикметників: комунікативний – належить до спілкування між людьми, народами; комунікаційний – належить до шляхів сполучення між різними частинами країни та державами¹⁵.

Отже, зазначені терміни походять від іншомовного слова комунікація. Термін «комунікативний» який пов'язують зі спілкуванням між людьми будь-якими засобами та в будь-якій формі, а значення терміна «комунікаційний» пов'язують з фізично існуючими лініями зв'язку, дорогами тощо.

У сучасній психологічній науці категорію комунікативність трактують як одну із основних соціальних компетентностей.

¹⁵ Словник іншомовних слів / за ред. О.С. Мельничука.

Гончаренко С. трактує комунікативність як рису особистості, здатність її до спілкування з іншими людьми, що формується у процесі життя і діяльності людини в соціальній групі.

Л. Орбан-Лембрик тлумачить поняття комунікації як складний процес, у ході якого відбувається не лише обмін інформацією, а і те, як вона формується, відправляється, отримується, уточнюється, переробляється, обговорюється, розвивається, а також налагоджується спільна інформаційна діяльність¹⁶.

Комунікативна компетентність – одна з найважливіших функцій життєдіяльності людини. Більшість науковців у комунікативній компетентності особистості виділяють такі основні аспекти: задоволення інформаційних потреб, здатність ефективно орієнтуватися в різноманітних ситуаціях спілкування, покладаючись на отримані знання та власний життєвий досвід у соціальних умовах, які динамічно змінюються.

Комунікативний компонент інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя передбачає володіння різноманітними формами і засобами передачі та отримання інформації, внаслідок якого відбувається накопичення знань, переоцінка наявного досвіду, опанування новими видами і методиками педагогічної діяльності та генерація нових ідей на основі власного педагогічного досвіду та досвіду колег.

Комунікативна складова інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя характеризується здатністю до спілкування, планування справ, координацію спільних дій та розподіл функцій безпосередньо та за допомогою цифрових засобів зв'язку.

Сформована комунікативна складова ІКТ-компетентності майбутнього учителя передбачає: отримані знання, сформовані навички і напрацьований досвід, які забезпечать його ефективну практичну діяльність і подальше професійне зростання. У сфері комунікації майбутній учитель повинен бути здатним:

- знаходити, аналізувати і використовувати у своїй практичній діяльності розроблені дидактичні матеріали і різноманітні Web-ресурси;
- наводити конкретні приклади використання Інтернет-ресурсів;
- виконувати інформаційний пошук першоджерел наукової та навчальної літератури з досліджуваної проблеми в бібліотеках та комп'ютерних мережах;
- застосовувати програмні середовища та інструменти для розробки мережових дидактичних матеріалів;

¹⁶ Орбан-Лембрик Л.Е. Соціальна психологія: У 2 кн.

- розробляти мережеві дидактичні матеріали, які допоможуть учням глибше засвоїти ключові поняття і використовувати їх для вирішення реальних ситуацій;
- використовувати мережі і програмні засоби з метою моніторингу і оцінки перебігу і результатів проектної роботи учнів;
- розробляти мережеві дидактичні матеріали, готувати навчальні заняття, під час яких учні залучаються до спільної дослідної роботи або вирішення навчальних проблем;
- використовувати електронну пошту, соціальні мережі і засоби IP-телефонії для співробітництва;
- користуватися мережевими системами для пошуку партнерів і ресурсів, що необхідні для організації освітніх проектів;
- контактувати з експертами і співпрацювати з іншими педагогами;
- організовувати в середовищі учнів та своїх колег «співтовариства знань»;
- використовувати функції і призначення хмарних середовищ і систем.

Рефлексивний компонент. Рефлексивні процеси проявляються майже у всіх сферах людської діяльності. Це і зумовлює унікальне місце і важливу роль рефлексії в структурі особистості людини. Категорія «рефлексія» має широкий спектр ознак і властивостей, та значний набір функцій. Поняття «рефлексії» було уведено ще давніми греками. І Платон, і Сократ, і Арістотель оперували цією філософською категорією, розуміючи її як духовну активність і пізнавальну функцію людини. З часом зміст цього поняття значно розширився. Основу сучасних понять про феномен рефлексії у процесах мислення досліджували заклали Д. Дьюї (Dewey J.), Дж. Локк (Locke J.), Ж. Піаже (Piaget J.).

У психологію першим цей термін ввів Д. Дьюї¹⁷, який трактував рефлексію, як процес розкриття прихованих зв'язків між якою-небудь ідеєю і якоюсь проблемою. Він також виділяє поняття рефлексивного мислення як активний, наполегливий і уважний розгляд будь-якої думки, або передбачуваної форми знання і аналіз подальших висновків до яких воно приводить.

Так Ж. Піаже рефлексію розумів як найвищу форму організації або рівноваги когнітивних структурувань, які за своєю суттю є системою найбільш життєвих і активних операцій¹⁸.

¹⁷ Dewey J. How We Think.

¹⁸ Jean Piaget. The Psychology of Intelligence.

Дж. Локк розглядав рефлексію як внутрішній досвід, який є основним джерелом знань, на відміну від досвіду зовнішнього, основою якого є сприйняття навколишнього світу органами чуття¹⁹.

У словнику сучасної української мови під редакцією В. Бусела рефлексією трактують як самоаналіз, роздуми людини над власним душевним станом, осмислення людиною власних дій, діяльність самопізнання.

Дослідниця О. Туриніна вважає, що рефлексія – це не особлива «частина» психіки, а особливий її стан, що мобілізується та змінюється специфічним ставленням до світу й до самого себе. Вона переконана, що рефлексивні властивості виконують функції саморегулювання та самоконтролю розвитку, сприяючи тим самим працездатності в пізньому онтогенезі²⁰.

В. Роменець рефлексію розумів як вираз аналітико-синтетичної діяльності людини, що розкриває базову структуру орієнтовно-дослідної діяльності вищих організмів²¹.

Аналіз верифікації цієї категорії дозволяє зробити висновок, що рефлексія:

- являє собою прояв розвитку розумових процесів високого рівня, які властиві тільки людині;
- дозволяє людині свідомо контролювати процес свого мислення;
- сприяє підвищенню продуктивності розумової діяльності;
- активізує і стимулює здатність людини до самоаналізу, самоусвідомлення і переосмислення;
- допомагає стабілізувати, гармонізувати і мобілізувати свою розумову діяльність;
- допомагає управляти своєю розумовою діяльністю;
- сприяє цілісності внутрішнього життя людини;
- здійснюють контроль і управління процесом набуття нових компетенцій.

Якщо перенести ці умовиводи на процес формування ІКТ-компетентності майбутнього учителя математики, то ми побачимо, що:

- рефлексія необхідна при освоєнні педагогічної діяльності;
- рефлексія необхідна при зміні умов як освітньої, так і професійної діяльності;
- рівень розвитку рефлексії є одним з визначних факторів формування необхідних майбутньому учителю компетентностей;

¹⁹ John Locke. An Essay Concerning Human Understanding

²⁰ Психологічний словник. / під ред. В.І. Войтка.

²¹ Роменець В.А. Психологія творчості: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.

- сформована рефлексія надає можливість зайняти дослідницьку діяльність по відношенню до своєї професійної діяльності;
- рефлексія є одним з основних механізмів професійного росту.

Рефлексивний компонент передбачає самооцінку власної педагогічної діяльності та ступінь підготовки до такої діяльності. Самооцінка є однією із складових якостей будь-якої особистості і її власного бачення щодо своїх людських, професійних, ділових та інших якостей.

Рефлексивний компонент інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя передбачає адекватну самооцінку власної діяльності і міри підготовленості студента до діяльності в сфері застосування цифрових засобів у освітньому процесі взагалі і зокрема в процесі навчання відповідної наукової сфери. Цей компонент передбачає предметний аналіз зіставлення обраних методів вирішення реальних професійних проблем з теоретичними зразками. Рефлексивний компонент передбачає потребу майбутнього учителя до постійного професійного зростання, оновлення і накопичування знань, умінь, навичок та напрацюванні власного досвіду у галузі цифрових технологій, програмних продуктів та методичних аспектів їх застосування.

Сформований рефлексивний компонент інформаційно-цифрової компетентності характеризується здатністю критично оцінити обраний програмний продукт у контексті його застосування в педагогічній діяльності, здатністю системно аналізувати свою професійну діяльність та навички учнів у сфері використання цифрових технологій в різних сферах діяльності людини, методику навчання, робити адекватну оцінку результатів своєї діяльності та творчо підходити до справи. Іншими словами рефлексивний компонент інформаційно-цифрової компетентності визначається ставленням до своєї практичної діяльності та її здійснення. Він включає самоусвідомлення, самоконтроль, самооцінку, розуміння значущості використання цифрових технологій у освітньому процесі, адекватну оцінку результатів своєї діяльності і відповідальність за результати цієї діяльності, пізнання себе, і самореалізацію в професійній діяльності через посередництво цифрових технологій.

Усі компоненти активно взаємодіють один з одним, переплітаються і утворюють єдиний процес. Розвиток кожного компоненту інформаційно-цифрової компетентності дуже тісно пов'язаний з розвитком інших компонентів і формуванням його залежить від формування інших компонентів як частини цілісної системи.

Аналіз компонентів інформаційно-цифрової компетентності учителя дозволяє зробити висновок, що компетентність учителя у галузі цифрових технологій проявляється в раціональному підборі і свідомому використанні

інформаційно–комунікаційних технологій у процесі активного вирішення різноманітних завдань практичного значення і досягнення позитивного результату.

Запропонована структура інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя є основою для розроблення критеріїв і показників її сформованості. Формування інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у процесі фахової підготовки важливо здійснити на основі науково-обґрунтованих методологічних підходів і принципів.

2. Критерії, показники та рівні сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів

Процес формування інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя складний і багатовимірний. Кожен із етапів формування компетентності в галузі цифрових технологій передбачає мотивацію до використання ІКТ в освітньому процесі, засвоєння певного рівня знань, сформованості умінь і навичок та здобуття досвіду роботи з такими технологіями, програмними і мережевими ресурсами за умови впровадження цифрових форм організації освітнього процесу, традиційних та інноваційних методів і засобів навчання, аналіз ефективності та доцільності застосування певного програмного продукту або технології. Сформовану інформаційно-цифрову компетентність можна виразити формулою: інформаційно-цифрова компетентність = мотивація + знання + (уміння, навички, досвід) + комунікативність + самоаналіз.

Кожен із трьох етапів формування інформаційно-цифрової компетентності характеризується певним ступенем сформованості складових компонентів інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів: мотиваційного, когнітивного, діяльнісного, комунікативного і рефлексивного потребує визначення конкретних критеріїв і показників їх сформованості.

Для визначення критеріїв у системі оцінки стану сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів розглянемо відповідні поняття.

Слово «критерій» походить від латинського *critērium* і означає здатність розрізнення, засіб, судження, мірило.

У тлумачних словниках поняття «критерій» трактується як: підстава для оцінки, визначення або класифікації чогось; мірило оцінки, судження.

Гончаренко С. під критерієм розуміє засіб переконання, мірило, показник, вимоги для визначення або оцінки людини, предмета, явища; ознака, взята за основу класифікації; ознака, загальна властивість, на основі якої здійснюється оцінка якої-небудь якості.

О. Снігур вважає, що у психолого-педагогічних дослідженнях критеріями можуть бути психічні характеристики особистості, моторика, пізнавальні здібності, особливості сприйняття та обробки інформації²². І висуває до критеріїв певні умови:

- критерії не повинні залежати від особистісних якостей дослідника і досліджуваного, тобто бути об'єктивними;
- характеризувати істотні особливості досліджуваного процесу або явища;
- формулюватися лаконічно, точно і зрозуміло.

Отже, під критерієм будемо розуміти певне ідеальне явище або об'єкт, суттєву властивість, ознаку цього явища або об'єкту, на основі якого визначається реальний стан сформованості досліджуваного явища або об'єкту.

Термін «показник» у тлумачних словниках визначають як свідчення, доказ, ознаку чого-небудь; наочні дані про результати якоїсь роботи, якогось процесу; дані про досягнення в чому не будь; дані, які свідчать про кількість чого-небудь; явище або подію, на підставі яких можна робити висновки про перебіг якого-небудь процесу; кількісну характеристику властивостей процесу; дані, які свідчать про розвиток, хід, стан чого не будь.

У межах дослідження нашої проблеми будемо виходити з того, що показник відображає те, що може фіксуватися числом, отриманим унаслідок вимірювання. Показник – це ознака, яка уможливує виділення найважливіших параметрів досліджуваного об'єкта і дозволяє дати їм адекватну оцінку.

Критерії необхідно задати так, щоб можна було виділити рівні сформованості інформаційно-цифрової компетентності. Критерії сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у процесі фахової підготовки включають ознаки, за допомогою яких можна виявити у студентів наявність або відсутність кожного з названих аспектів.

Відбір критеріїв інформаційно-цифрової компетентності проходив під впливом нормативних документів і методичних наукових робіт європейських і українських науковців: концепції нової української школи, концепції розвитку педагогічної освіти, професійних стандартів за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти» та «Вчитель закладу загальної середньої освіти», Європейської рамки цифрової компетентності для громадян (DigComp),

²² Снігур О. М. Формування вмінь використовувати засоби інформаційних технологій у майбутній професійній діяльності вчителя початкової школи: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.09.

рамки цифрової компетентності для освітян (DigCompEdu), опису цифрової компетентності педагогічного працівника OpenEdu, рамка цифрової компетентності для громадян України. Аналіз цих робіт дозволив визначити критерії сформованості інформаційно-цифрової компетентності майбутніх вчителів у процесі фахової підготовки та сформулювати їх показники (табл. 1). Зокрема критеріями сформованості інформаційно-цифрової компетентності у дослідженні є: мотиваційно-ціннісний, пізнавальний, технологічний, інформаційно-комунікативний, рефлексивно-оціночний.

Зазначимо, що зафіксовані показники між собою тісно взаємопов'язані і проявляються комплексно.

З урахуванням означених вище критеріїв та їх показників було визначено чотири рівні сформованості інформаційно-цифрової компетентності залежно від міри готовності використання майбутнім учителем цифрових засобів у професійній діяльності: початковий, базовий, ґрунтовний, активний.

Початковий рівень. Майбутній учитель характеризується низькою мотивацією до використання цифрових засобів у педагогічній діяльності, фрагментарною теоретичною підготовкою, відсутністю системних технологічних умінь та навичок стосовно використання цифрових засобів у освітньому процесі, не здатний до адекватного аналізу і самоаналізу власної діяльності, байдуже ставиться до пропаганди використання цифрових засобів колегами в освітньому процесі.

Базовий рівень. Майбутній учитель характеризується обмеженим інтересом до застосування цифрових засобів у професійній діяльності, ситуативним бажанням опанувати нове програмне забезпечення, несистемною цікавістю до методичного досвіду колег у галузі застосування цифрових технологій в освітньому процесі, фрагментарним аналізом і самоаналізом педагогічної діяльності, відсутнім бажанням експериментувати.

Ґрунтовний рівень. Майбутній учитель характеризується стійкою усвідомленістю мотивів до застосування цифрових засобів у практичній роботі учителя, достатньою теоретичною, предметною, технологічною та методичною підготовкою у сфері упровадження цифрових технологій в освітній процес, достатнім рівнем сформованості професійних умінь та навичок учителя до організації освітнього процесу з використанням цифрових засобів, достатнім рівнем використання засобів комунікації в педагогічній роботі, здатністю оцінювати обране цифрове середовище і потребами освоєння методичних новацій у галузі застосування та пропаганда ІКТ у педагогічному середовищі.

Таблиця 1
Критерії та показники сформованості ІКТ-компетентності майбутнього учителя математики

Компонент	Критерії	Показники
Мотиваційний	<i>Мотиваційно-ціннісний</i> (сформоване усвідомлення доцільності використання цифрових технологій у освітньому процесі)	сформовані стійкі спрямовані потреби та інтереси до ефективного та успішного використання цифрових засобів в освітньому процесі (М1 – «мотивація успіху»)
Когнітивний	<i>Пізнавальний</i> (сформованість предметних, методичних і технологічних знань стосовно використання цифрових засобів у діяльності учителя)	комплексні знання про можливості і перспективи застосування цифрових технологій в педагогічній діяльності учителя (К1 – комплексні знання)
Діяльнісний	<i>Технологічний</i> (сформованість методичних і технологічних умінь та навичок стосовно застосування цифрових засобів у діяльності учителя)	сформовані уміння, навички та досвід з використання цифрових технологій в педагогічній діяльності учителя математики (Д1 – практичні здатності)
Комунікативний	<i>Інформаційно-комунікативний</i> (сформованість методичних і технологічних умінь та навичок стосовно застосування засобів дистанційного зв'язку у діяльності учителя)	сформовані уміння і навички самостійно опановувати нові технічні, програмні і мережеві цифрові засоби (Д2 – навички самостійності)
Рефлексія	<i>Рефлексивно-оцінювальний</i> (сформовані навички аналізу діяльності, самоаналізу та самовдосконалення для планування використання цифрових засобів у професійній діяльності учителя)	сформовані ціленаправлені уміння і навички використовувати соціальні мережі та інші засоби дистанційної комунікації для організації освітнього процесу (КО1 – комунікативні уміння)
		сформовані уміння здійснювати аналіз, самоконтроль та самоаналіз використання цифрових технологій у своїй професійній діяльності та вдосконалювати власну педагогічну майстерність з використання цифрових засобів (Р1 – уміння самоаналізу)

Активний рівень. Майбутній учитель характеризується глибоко усвідомленою необхідністю упровадження цифрових засобів у професійну діяльність учителя, ґрунтовними теоретичними, предметними, технологічними та методичними знаннями, здатністю критично оцінити доступне технічне та програмне забезпечення і ґрунтовно володіти навичками раціонального і ефективного його використання, активною пропагандою застосування цифрових середовищ серед колег, постійною потребою аналізувати ефективність власної професійної діяльності в сфері використання таких засобів та технологій.

Відповідно до виділених критеріїв наведемо стислі характеристики їх показників за рівнями сформованості.

Сформованість потреб та інтересів до використання цифрових засобів в освітньому процесі (показник М1 – «мотивація успіху») відповідно до рівнів представлена в табл. 2.

Таблиця 2

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником М1
мотиваційного критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Низька мотивація в потребі володіння прийомами для пошуку, опрацювання і представлення інформаційних матеріалів за допомогою ІКТ. Відсутній інтерес до освоєння нових програмних середовищ. Низька мотивація у потребі володіння прийомами створення нових інформаційних матеріалів за допомогою цифрових засобів.
Базовий	Ситуативні прагнення уникати невдачі при демонстрації володіння прийомами для пошуку, опрацювання і представлення інформаційних матеріалів за допомогою цифрових технологій та освоєнні нових програмних засобів. Ситуативні потреби створення нових інформаційних матеріалів за допомогою цифрових засобів.
ґрунтовний	Усвідомлене прагнення досягнення успіху при пошуку, опрацюванні і представленні інформаційних матеріалів за допомогою цифрових технологій та освоєнні нових програмних засобів. Усвідомлена потреба володіння прийомами створення нових інформаційних матеріалів за допомогою цифрових засобів.
Активний	Стійке прагнення досягнення успіху у процесі пошуку, опрацювання і представлення інформаційних матеріалів за допомогою цифрових технологій та освоєнні нових програмних засобів. Стійка усвідомлена потреба володіння новими прийомами та програмними продуктами створення нових інформаційних матеріалів за допомогою цифрових засобів.

Сформованість комплексних знань про можливості і перспективи застосування ІКТ у педагогічній діяльності учителя математики (К1 – комплексні знання) відповідно до рівнів представлена в табл. 3.

Таблиця 3

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником К1
пізнавального критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Фрагментарні знання про технічні і програмні цифрові засоби загального призначення для пошуку, опрацювання і представлення інформації, про цифрові середовища для вирішення фахових задач, про застосування в педагогічній діяльності спеціалізованих методичних цифрових засобів
Базовий	Несистемні знання про технічні і програмні цифрові середовища загального призначення для пошуку, опрацювання і представлення інформації про добір цифрових засобів професійного спрямування, про можливості застосування в педагогічній діяльності спеціалізованих методичних цифрових засобів.
Грунтовний	Задовільні знання про технічні і програмні цифрові середовища загального призначення для пошуку, опрацювання і представлення інформації, комплексні знання про добір програмних засобів професійного спрямування для вирішення прикладних проблем, знання про можливості і перспективи застосування в педагогічній діяльності спеціалізованих методичних цифрових засобів.
Активний	Грунтовні і системні знання про технічні та цифрові засоби загального призначення для пошуку, опрацювання і представлення інформації, ґрунтовні і системні знання про добір програмних засобів професійного спрямування для вирішення прикладних проблем, ґрунтовні і системні знання про можливості і перспективи застосування в педагогічній діяльності спеціалізованих методичних цифрових засобів.

Сформовані уміння, навички та досвід з використання ІКТ в педагогічній діяльності учителя математики (Д1 – практичні здатності) відповідно до рівнів представлена в табл. 4.

Сформовані уміння, навички самостійно опановувати нові технічні засоби і програмні цифрові середовища (Д2 – навички самостійності) відповідно до рівнів представлена в табл. 5.

Таблиця 4

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником Д1
технологічного критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Фрагментарні вміння і навички застосовувати технічні засоби і програмні цифрові середовища загального призначення.
Базовий	Ситуативні вміння і навички застосовувати технічні засоби і цифрові середовища загального призначення; ситуативні вміння і навички вирішувати навчальні завдання за допомогою цифрових середовищ.
Грунтовний	Системні вміння і навички вирішувати навчальні проблеми за допомогою технічних засобів і програмних цифрових середовищ загального призначення, системні вміння і навички добирати і вирішувати навчальні проблеми за допомогою програмних засобів, сформований досвід роботи з інструментарієм методичного програмного забезпечення.
Активний	Грунтовні, системні вміння і навички ефективно вирішувати навчальні і побутові проблеми за допомогою доступних технічних засобів і програмних цифрових середовищ загального призначення. Грунтовні вміння і навички ефективно добирати і вирішувати навчальні проблеми за допомогою програмних засобів. Сформований системний досвід з володіння інструментарієм методичного програмного забезпечення.

Таблиця 5

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником Д2
технологічного критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Відсутні вміння і навички самостійно опановувати нові цифрові технології.
Базовий	Уміння фрагментарно застосовувати нові цифрові технології (за аналогії з попередньо засвоєними версіями).
Грунтовний	Сформовані вміння і навички самостійно опановувати нові технічні засоби і програмні цифрові середовища.
Активний	Грунтовні вміння та навички самостійно опановувати нові технічні засоби і програмні цифрові середовища, створювати методичні рекомендації з практичного застосування цифрових технологій в педагогічній діяльності.

Сформовані уміння і навички використовувати соціальні мережі і інші засоби дистанційної комунікації для організації освітнього процесу (КО1 – комунікативні уміння) відповідно до рівнів представлені в табл. 6.

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником КО1
інформаційно-комунікативного критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Несистемне використання соціальних мереж та інших ресурсів для дистанційного спілкування. Несистемні спроби використовувати соціальні мережі та інші мережеві ресурси для навчання.
Базовий	Уміння використовувати соціальні мережі та інші ресурси для дистанційного спілкування і пошуку інформації. Фрагментарне використання соціальних мереж та інших мережевих ресурсів для освітнього процесу.
Грунтовний	Цілеспрямоване системне використання соціальних мереж та інших ресурсів для дистанційного спілкування та пошуку і аналізу інформації. Цілеспрямоване використання соціальних мереж, хмарних технологій та інших мережевих ресурсів для освітнього процесу. Цілеспрямоване використання соціальних мереж, хмарних технологій і інших засобів дистанційної комунікації для організації освітнього процесу. Цілеспрямоване використання середовищ ІІІ для професійної діяльності
Активний	Грунтовне, ефективне, активне використання соціальних мереж, хмарних технологій, соціальних сервісів Web 2.0 та інших ресурсів для дистанційного спілкування для пошуку і аналізу інформації. Активне, цілеспрямоване використання соціальних мереж, хмарних технологій та інших мережевих ресурсів, інших засобів дистанційної комунікації для ефективної організації освітнього процесу. Активне, цілеспрямоване пропагування застосування середовищ ІІІ та робота в них для ефективної організації освітнього процесу.

Сформованість умінь здійснювати аналіз, самоконтроль та самоаналіз використання цифрових технологій у своїй професійній діяльності та вдосконалювати власну педагогічну майстерність з використання ІКТ (Р2 – умінь самоаналізу) відповідно до рівнів представлена в табл. 7.

Таким чином, робимо висновок, що інформаційно-цифрова компетентність у майбутніх учителів формується в ході вивчення інформатичних, психолого-педагогічних та дисциплін відповідної наукової сфери, під час проходження педагогічних та інших видів практик. Ця робота приводить до накопичення знань, умінь, навичок та певного досвіду використання цифрових засобів та програмних цифрових середовищ як для навчальної роботи так і для майбутньої професійної діяльності. Таке

накопичення сприяє формуванню інформаційно-цифрової компетентності на кожному з етапів від рівня до рівня. При цьому кожен попередній рівень є основою для формування наступного.

Таблиця 7

**Рівні сформованості ІКТ-компетентності за показником Р1
рефлексивно-оціночного критерію**

Рівень	Зміст
Початковий	Невиражені потреби саморозвитку у галузі використання цифрових середовищ у професійній діяльності.
Базовий	Низькі потреби саморозвитку у галузі використання цифрових середовищ у професійній діяльності. Невиражені навички аналізу та самоаналізу педагогічної діяльності.
Грунтовний	Усвідомлена позиція стосовно ефективності та доцільності застосування цифрових технологій у професійній діяльності. Потреба саморозвитку у галузі використання цифрових засобів в освітньому процесі.
Активний	Активна критична позиція щодо ефективності та доцільності застосування цифрових технологій у професійній діяльності, сформованість системних умінь аналізувати, порівнювати та узагальнювати досвід використання цифрових середовищ. Потреба активного саморозвитку в сфері використання цифрових технологій .

Отже, визначені критерії (мотиваційно-ціннісний, пізнавальний, технологічний, інформаційно-комунікативний, рефлексивно-оціночний), які характеризуються показниками (мотивація успіху, комплексні знання, практичні здатності, навички самостійності, комунікативні уміння, уміння самоаналізу) з розробленими рівнями сформованості є основою ефективного формування інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів.

ВИСНОВКИ

У роботі здійснено теоретичне узагальнення й практичне розв’язання наукової проблеми визначення змісту інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів у процесі фахової підготовки.

Формування інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя у процесі фахової підготовки визначають серед пріоритетів для української освітньої галузі і відображають у наступних нормативних документах: концепція нової української школи, концепція розвитку педагогічної освіти, професійні стандарти за професіями «Вчитель

початкових класів закладу загальної середньої освіти», «Вчитель закладу загальної середньої освіти».

Це зумовлено інтенсифікацією шкільної освіти внаслідок інтенсивного пришвидшення розвитку усіх соціальних процесів. Одним із ефективних способів ліквідувати розрив між динамікою соціального розвитку і шкільною освітою є застосування в освітньому процесі постійне слідування за зростаючим потенціалом цифрових технологій у професійній діяльності учителя.

На підставі проведеного аналізу нормативних джерел і наукової літератури у роботі структуру (технічний, інформаційний, комунікаційний та фаховий аспекти) і виділено зміст інформаційно-цифрової компетентності сучасного учителя на кожному із етапів формування.

Аналіз нормативних документів, які уточнюють вимоги до підготовки учителя, дозволяють визначити основні компоненти інформаційно-цифрової компетентності учителя: мотиваційний, когнітивний, діяльнісний, комунікативний і рефлексивний. Мотиваційний компонент характеризує вмотивованість застосовувати цифрові засоби у професійній діяльності та інтерес до впровадження цифрових технологій в освітній процес. Когнітивний компонент визначається комплексними знаннями про можливості використання цифрових засобів в освітній діяльності учителя. Діяльнісний компонент характеризується системою сформованих технологічних умінь та навичок стосовно використання цифрових технологій в освітній діяльності. Сформований комунікативний компонент характеризується напрацьованими вміннями і навичками організації процесу комунікації, використовуючи цифрові засоби, для підвищення професійної майстерності. Рефлексивний компонент визначається сформованими вміннями критичного аналізу ефективності застосування цифрових технологій в освітньому процесі.

Виділено чотири рівні сформованості компонентів інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя та охарактеризовано критерії та їхні показники: мотиваційний компонент визначається за мотиваційно-ціннісним критерієм, показником якого є мотивація до ефективного і успішного використання сучасних цифрових технологій в освітньому процесі; когнітивний компонент готовності визначається за пізнавальним критерієм, показником якого є комплексні знання про можливості і перспективи застосування цифрових технологій в діяльності учителя; діяльнісний компонент визначається за технологічним критерієм, показниками якого є сформовані вміння, навички та досвід використання цифрових технологій в освітній діяльності учителя та сформовані вміння і навички самостійно опановувати нові технічні

засоби і програмні цифрові середовища; комунікативний компонент визначається інформаційно-комунікативним критерієм, показниками якого є сформовані уміння і навички використовувати соціальні мережі і інші засоби дистанційної комунікації для організації освітнього процесу; рефлексивний компонент визначається за рефлексивно-оціночним критерієм, показником якого є уміння здійснювати самоконтроль та самоаналіз використання ІКТ у професійній діяльності та вдосконалювати власну педагогічну майстерність з використання цифрових технологій. Визначені критерії та їхні показники виступають мірилом інформаційно-цифрової компетентності майбутнього учителя на чотирьох рівнях: активному, ґрунтовному, базовому і початковому.

Проведене дослідження не вичерпує всіх аспектів формування інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів. Перспективними напрямками подальших наукових пошуків є дослідження специфіки впливу середовищ штучного інтелекту на формування інформаційно-цифрової компетентності учителів.

АНОТАЦІЯ

Темпи сучасного життя вимагають зміни підходів до галузі освіти. Динаміка розвитку цифрових технологій зумовлює потребу в модернізації як загальної освіти так і педагогічної. Сучасний педагогічний працівник повинен мати ґрунтовні знання у відповідній науковій сфері і впевнено володіє як цифровими засобами загального призначення так і спеціалізованими програмними середовищами. Шкільний учитель, який має сформовану інформаційно-цифрову компетентність може успішно змінювати методи і прийоми подання навчального матеріалу, і як результат освітній процес буде більш ефективним.

Література

1. Нова українська школа. Концептуальні засади реформування середньої школи. 2016 / Міністерство освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf>
2. Професійний стандарт «Вчитель закладу загальної середньої освіти» / Наказ Міністерства освіти і науки України №2730. 23.12.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1143732-18#Text>
3. Професійний стандарт «Вчитель закладу загальної середньої освіти» / Наказ Міністерства освіти і науки України №1225 від 29.08.2024 р. URL: <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinohostandartu-vchitel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity>

4. Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu) URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en
5. Morze, N.; Bazeliuk, O.; Vorotnikova, I.; Dementiievskva, N.; Zakhar, O.; Nanaieva, T.; Pasichnyk, O.; Chernikova, L. Опис цифрової компетентності педагогічного працівника. OpenEdu. 2019. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/27905/1/digital%20comp%20teacher%20Morze.pdf>.
6. Рамка цифрової компетентності для громадян України (DigComp 2.1). / Міністерство цифрової трансформації України. 2021. URL: https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/news_post/2021/3/mintsifra-oprilyudnyue -ramku-tsfrovoi-kompetentnosti-dlya-gromadyan/%D0%9E%D0%A0%20%D0A6%D0%9A.pdf
7. Abraham H. Maslow. Motivation and Personality (2nd ed.) N.Y.: Harper & Row, 1970. 369 p.
8. Deci E.L., Ryan R.M. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development and health. Canadian Psychology, 2008. v. 49. P. 182–185.
9. Семиченко В.А. Проблеми мотивації поведінки і діяльності людини. Модульний курс психології. (Лекції, практичні завдання, завдання для самостійної роботи) Київ: Міленіум, 2004. 512 с.
10. Кісіль З.Р., Швець Д.В. Мотивація діяльності людини: Навчальний посібник у схемах, таблицях, коментарях. Одеса: Видавництво ОДУВС, 2023. 154 с.
11. Філософський енциклопедичний словник / Національна академія наук України. Інститут філософії імені Г.С.Сковороди. Київ. Абрис, 2002. 744 с.
12. Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.) / Уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. Ірпінь: ВТФ «Перун», 2005. 1728 с.
13. Гончаренко С.У. Український педагогічний словник Київ. «Либідь», 1997. 374 с.
14. Словник паронімів української мови / [уклад. Д. Г. Гринчишин, О. А. Сербенська]. Київ: Освіта, 2008. 320 с.
15. Словник іншомовних слів / за ред. О.С. Мельничука. Київ: Голов. ред. УРЕ АН УРСР, 1985. 775 с.
16. Орбан-Лембрик Л.Е. Соціальна психологія: У 2 кн. Київ: Либідь, 2004. Кн. 1: Соціальна психологія особистості і спілкування. 576 с.
17. Dewey J. How We Think. D. C. Heath & Co., Publishers, 1910.
18. Jean Piaget. The Psychology of Intelligence. Routledge, 2001. 202 p.
19. John Locke. An Essay Concerning Human Understanding. Penguin UK., 2004. 816 p.

20. Туриніна О. Л. Психологія творчості : Навч. посіб. / Київ: МАУП, 2007. 160 с.
21. Роменець В.А. Психологія творчості: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Либідь, 2001. 286 с.
22. Снігур О. М. Формування вмінь використовувати засоби інформаційних технологій у майбутній професійній діяльності вчителя початкової школи: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.09 Київ: 2007. 222 с.

Information about the author:

Petrenko Sergii Ivanovych,

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Informatics
Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko
87, Romenska street, Sumy, Ukraine

Izdevniecība “Baltija Publishing”
Avotu iela 8 k-1 - 25, Rīga, LV-1011
E-mail: office@baltijapublishing.lv

Iespiegts tipogrāfijā SIA “Izdevniecība “Baltija Publishing”
Parakstīts iespiešanai: 2026. gada 29. maijs
Tirāža 300 eks.