Development of Scientific and Educational System: European Vector – 2026

Series of monographs
Slovak Publishing House
NES Nová Dubnica s.r.o.

Monograph 4

Publishing House NES
Nová Dubnica s.r.o., 2026



Development of Scientific and Educational System: European Vector – 2026

Series of monographs
Slovak Publishing House
NES Nová Dubnica s.r.o.
Monograph 4

Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o., 2026

Editorial board :
Róbert Hulák – PhD, NES s.r.o., Slovenská Republika
Jiří Kabelka – PhD, DEL a.s., Czech Republic
Jitka Belková – Master of Engineering and Technology, Slovenská Republika
Zdeněk Navrátil – Master of Mechanical Engineering, Czech Republic

Reviewers :
Filip Gabriš – PhD, NES s.r.o., Slovenská Republika
Jana Hudecová – Master of Engineering and Technology, Slovenská Republika
Zdeněk Králíček – PhD, DEL a.s., Czech Republic

Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o., Slovenská Republika

Monograph 4

The authors bear full responsible for the text, quotations and illustrations

Copyright by NES Nová Dubnica s.r.o., Slovenská Republika, 2026

ISBN 988 – 963 – 8454 – 15 – 6 - 6S

Editorial compilation
Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o.
M.Gorkého 820/27, P.O.BOX
018 51 Nová Dubnica, Slovenská Republika
tel. +421-42-4401 209

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1. MODERN BASICS OF ECONOMICS, MANAGEMENT AND TOURISM 7
1.1. Digital Content in the Operations of Logistics Operators 7
1.2. Customer Relationship Management Through CRM Strategy Development 19
1.3. The Gig Economy Between Flexibility and Vulnerability: Impact on the Resilience of Ukrainian Business 29
1.4. Transformation of the Administration of Operational Activities in a Road Transport Enterprise in the Context of Crisis Challenges 39
1.5. The History of World Tourism Development in the Context of Local History and Tourism Activities in Educational Institutions 55
1.6. Formation of Financial Stability and Profitability of the Sectors of Ukraine's Economy Under Conditions of Instability Through the Prism of Financial Leverage 71
1.7. Adaptive Management of Resistance to Organizational Change Based on Data and Artificial Intelligence 80
1.8. Transformation of Marketplace Assortment Policy and its Impact on the Managerial Decision-Making System in E-Commerce 97
1.9. Supply Chain Resilience Management Under Logistics Risks 109
1.10. Psychology of Consumer Behaviour and Emotional Marketing in the Tourism and Hospitality Sector in the Context of Post-War Reconstruction 118
CHAPTER 2. INNOVATIONS IN MODERN MEDICINE AND BIOLOGY 134
2.1. Egg-Laying Dynamics and Estimation of Incubation Stage in the Great Cormorant Phalacrocorax Carbo 134
2.2. Hygienic Problems of Surface Water Protection from Anthropogenic Pollution and its Use for Drinking Water Supply 146
CHAPTER 3. INNOVATIVE AND MODERN FOUNDATIONS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY 165
3.1. Modern Educational Technologies in Teaching Organic Chemistry in Higher Education Institutions 165
3.2. Integration of Artificial Intelligence into Inorganic Chemistry Education as an Innovative Direction of Modern Pedagogy 182
3.3. The Development of Basic Life Skills as a Strategy for Remedial Work with Children with Intellectual Disabilities 201
3.4. Innovative Approaches in Teaching the Subject Defense of Ukraine . . . 209
3.5. Psychological Readiness of a Teacher for Partnership Interaction with Parents of Children with Special Educational Needs 226
3.6. Forms, Content and Innovative Technologies of Physical Culture and Health-Improving Activities with Students During Extracurricular Time . 242
3.7. Cognitive Activity of Primary School Pupils in the Contemporary Educational Process: Essence, Structure and Conditions for its Development 261

3.8. Patriotic Education of Senior Preschool Children Through Ukrainian Folk Active Games 281
CHAPTER 4. MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF LINGUISTICS AND PHILOLOGY 299
4.1. Semantic Relevance as a Diagnostic Criterion of Resemanticization . . . 299
CHAPTER 5. IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF PHYSICO-MATHEMATICAL AND TECHNICAL DIRECTIONS 315
5.1. Modern Approaches to the Synthesis and Characterization of Functional Inorganic Materials 315
5.2. Methodological Foundations of Modern Scientific Research in Chemistry 333
5.3. Some Features of the Operation of Analog-Digital Converters (ADC) in the Composition Digital Mass Meters (GMM) 351
5.4. Improving the Scientific and Methodological Foundations for Ensuring the Environmental Safety of Natural-Technogenic Systems Based on Parametric and Engineering-Technological Approaches 361
CHAPTER 6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF MODERNIZATION OF VOCATIONAL EDUCATION: THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ASPECTS 380
6.1. Innovative Technologies as a Factor in the Modernization and Development of the Vocational Education System 380
6.2. Classification Characteristics of Innovative Teaching Technologies . . . 382
6.3. Modern Forms, Methods and Means of Organizing Instruction Based on Innovative Technologies 384
6.4. Pedagogical Conditions and Factors for the Effective Implementation of Innovative Technologies in the Educational Process 386
6.5. Methodological Approaches to Integrating Innovative Technologies into the Professional Training of Learners 388
6.6. Practical Implementation of Innovative Technologies in Higher Education Institutions 391
ANNOTATION 397
ABOUT THE AUTHORS 406

CHAPTER 1. MODERN BASICS OF ECONOMICS, MANAGEMENT AND TOURISM

1.1. Digital Content in the Operations of Logistics Operators

Problem statement. A contemporary logistics operator functions not only as a carrier, freight forwarder, or organizer of warehousing and transportation processes. In the digital economy, it increasingly acts as an information integrator connecting senders, recipients, sellers, marketplaces, financial intermediaries, customs and supervisory authorities, electronic document management providers, and other supply chain participants. Accordingly, the performance of a logistics service is now determined not only by the speed of cargo movement, the reliability of the terminal network, or delivery costs, but also by the quality of the digital content accompanying each logistics operation.

Digital content in logistics should not be understood solely as material published on websites or social media. For a logistics operator, the concept encompasses a much broader range of elements: electronic consignment notes, tracking statuses, push notifications, QR codes, digital customer instructions, application programming interface (API) requests, geolocation data, photographic records, formal electronic records, electronic road consignment notes (e-TTN), dashboards for business customers, chatbots, self-service workflows, personalized offers, and knowledge resources that enable customers to independently book, pay for, track, modify, or return a shipment. In this context, digital content becomes a concrete representation of data that supports trust, transparency, and the effective management of logistics processes.

Several factors reinforce the relevance of this topic. First, the Ukrainian delivery market is closely linked to the development of e-commerce, where the speed and clarity of digital interactions affect online sales and repeat purchases. According to a YouControl.Market study, more than 77,000 sole proprietors and 3,173 legal entities were operating in Ukraine's online retail sector by the end of 2025, while the number of sole proprietors in the sector had increased by more than 13,000 over the year [1]. Second, under martial law, logistics operators face persistent risks, route changes, infrastructure constraints, growing demand for international shipments, and the need to promptly inform customers of service changes. Third, Ukraine is developing the regulatory and technological framework for electronic document management in domestic freight transportation. This includes the e-TTN system, which the state regards as an information and communication system for the digitalization of domestic freight transportation [2].

Previous research on logistics operators has devoted considerable attention to innovations in express delivery, including terminal automation, parcel lockers, unmanned technologies, international partnerships, and the expansion of branch networks. In particular, O. Kobyliukh and O. Hirna analyze an innovation-driven development path for a logistics operator in the Ukrainian and international express delivery markets [3]. However, digital content as a distinct focus of management within a logistics operator has not yet received sufficient systematic attention. It is often

examined in a fragmented manner, as a set of digital communication channels, automation tools, or marketing support activities. Such an approach does not allow a comprehensive assessment of the effects of content on operational efficiency, service quality, customer experience, brand trust, and supply chain integration.

The problem lies in the absence of an integrated theoretical and applied model of a logistics operator's digital content that combines technological, operational, marketing, document-related, and analytical dimensions. There is therefore a need to define the concept, develop its classification, identify its functions and performance indicators, and determine how digital content management can be improved in the activities of Ukrainian logistics operators.

Review of recent research and publications. Ukrainian scholarship on logistics digitalization is developing rapidly. H. Tsikh and V. Sukhoversha examine logistics in the context of digital transformation, emphasizing the role of cloud technologies, digital services, electronic consignment notes, and innovative platforms in improving the responsiveness of logistics processes [4]. N. Kantsedal, O. Leha, and Ye. Morozov analyze digital technologies as tools for optimizing the supply, storage, and transportation of goods. Their study identifies supply chain management (SCM), warehouse management systems (WMS), the Internet of Things (IoT), blockchain, and artificial intelligence as important technological components of contemporary logistics [5]. N. Hurzhii, V. Havran, and N. Sapotnitska focus on the effects of digital technologies on the management of enterprise logistics processes, particularly the use of customer relationship management (CRM) and enterprise resource planning (ERP) systems, digital databases, and internal information environments [6].

A separate body of research addresses changing management approaches in digital logistics. M. Alieksieiev and M. Nebava establish the need to adapt functional, process-based, systems, and integration-based approaches to the digital transformation of logistics. They emphasize that an integration-based approach creates a unified information environment for coordinating supply chain participants [7]. O. Ptashchenko and O. Kurtsev examine the digitalization of logistics processes in relation to transformations in organizational culture. In their view, digitalization requires not only the adoption of technologies but also changes in approaches to managing people, knowledge, communication, and decision-making [8].

The study by V. Los is particularly relevant to the present topic, as it links the digitalization of logistics companies' communication strategies to the use of multichannel platforms, electronic services, and data analytics. The author notes that these tools accelerate information exchange and enhance customer orientation, trust, and loyalty [9]. This approach directly intersects with digital content, since any logistics operator's communication strategy is implemented through specific message formats, interfaces, statuses, instructions, and digital interaction workflows.

Research on customer experience also provides a methodological basis for analyzing digital content. O. Kolomytseva, A. Boiko, and O. Vasylchenko demonstrate that service personalization, responsiveness to inquiries, and the use of digital solutions are important determinants of customer loyalty [10]. For a logistics operator, this means

that a shipment status, a route-change notification, instructions for collecting a parcel from a locker, or a chatbot response is not merely a secondary item of information. Each constitutes an element of the customer experience that directly influences perceptions of service quality.

The practical dimension of digital content is evident in logistics operators' official digital services. Nova Poshta offers businesses tools for automating and integrating logistics processes, including shipment creation and management, website and accounting system integration via API, online contract signing using a digital signature, and the monitoring of financial settlements [11]. On its basic services page, the company states that an express waybill can be created through its business portal, mobile application, or API. This reduces the need to queue and turns shipment booking into a digital self-service workflow [12]. Ukrposhta is developing a mobile application, chatbot, personal account portal, and API for e-commerce. Its new application supports shipment creation, payment, and tracking, as well as push notifications, branch searches, and directions to branches [13, 14].

Thus, existing research and practical materials provide a sufficient basis for analyzing the digital transformation of logistics. Nevertheless, they require further synthesis specifically from the perspective of digital content as a managerial, operational, and communicative category.

Research gaps. Despite extensive research into logistics digitalization, most studies adopt a predominantly technological perspective, focusing on artificial intelligence, IoT, WMS, transportation management systems (TMS), ERP, SCM, blockchain, cloud services, and the automation of warehousing or transportation processes. Digital content, by contrast, generally remains an 'invisible layer' within these technologies. Although present in every process, it is not distinguished as an independent resource requiring planning, standardization, quality assurance, analytics, protection, and performance assessment.

Several questions remain insufficiently addressed: which types of digital content underpin a logistics operator's activities; how operational, document-based, customer-facing, and marketing content are interrelated; which indicators can be used to assess content effectiveness; how digital content affects the speed of logistics operations, delivery transparency, customer trust, and an operator's ability to function under risk; and which organizational changes are required to move from fragmented content creation to systematic content management.

The dual role of digital content also remains underexplored. On the one hand, it represents the physical movement of goods through statuses, routes, scanning records, consignment notes, and proof of delivery. On the other hand, it shapes customers' perceptions of logistics services through interface clarity, message accuracy, accessible instructions, chatbot responsiveness, personalized offers, and the quality of content in mobile applications. Research on digital content must therefore combine logistics, marketing, and information management perspectives.

Research objective. This paper aims to establish the theoretical and applied foundations of digital content management in logistics operators' activities and to

determine its role in improving operational efficiency, the transparency of logistics processes, and the quality of the customer experience.

Research methodology. The study draws on systems, process-based, and customer-oriented approaches. The systems approach made it possible to examine digital content as a component of a logistics operator's digital system, linking information systems, communication channels, document management, customer service, and analytics. The process-based approach was used to describe digital content at different stages of the logistics cycle, from order placement to delivery, returns, payment, and post-service communication. The customer-oriented approach enabled the assessment of digital content as a means of fostering customer trust, convenience, and loyalty. Analysis and synthesis were used to review and integrate scholarly sources; the comparative method was applied to compare logistics operators' digital services; classification was used to group digital content types; logical generalization was employed to formulate conclusions; and tabular presentation was used to report the research findings.

Main findings. This study proposes defining a logistics operator's digital content as the set of structured and unstructured digital data, documents, messages, interface elements, visual materials, instructions, service workflows, and analytical outputs created, processed, stored, and distributed within a digital environment to support logistics operations, customer communication, partner interaction, and regulatory compliance.

This definition differs fundamentally from a narrow understanding of content as marketing material. For a logistics operator, digital content has an operational role: without it, a consignment note cannot be created, a sender identified, payment verified, a route determined, cargo scanned, a customer notified, delivery confirmed, or a claim submitted. At the same time, it has a communicative role. Digital messages, interfaces, and reference materials enable customers to understand what is happening to their shipment, what actions they need to take, and how quickly a problem will be resolved. Digital content also has a legal dimension, since electronic documents signed with a qualified electronic signature fall within the legal framework governing electronic identification and electronic trust services [15].

Digital content performs at least six functions in a logistics operator's activities. Its informational function involves providing customers and partners with information on rates, delivery times, statuses, locations, rules, and restrictions. Its operational function supports logistics activities through digital documents, barcodes, QR codes, scanning, and routing. Its communication function encompasses messages, chatbots, contact centers, email communications, and push notifications. Its analytical function enables data to be accumulated for demand forecasting, service quality assessment, and network optimization. Its marketing function supports brand development, trust, loyalty, and repeat business. Its regulatory function ensures compliance with requirements concerning electronic document management, information protection, and transport legislation.

In digital logistics, physical flows and content flows operate in parallel. Cargo moves between a warehouse, terminal, branch, parcel locker, or customer address, while digital content represents this movement through data, statuses, documents, and messages. The more accurate and synchronized the content flow, the greater the transparency of the logistics process. Conversely, delayed status updates, unclear messages, or errors in an electronic consignment note can create an impression of poor service quality even when physical delivery proceeds without significant disruption.

Table 1 presents the classification of digital content.

Table 1

Classification of a logistics operator's digital content

Classification criterion	Types of digital content	Examples in the operator's activities
Functional purpose	operational, service, marketing, document-based, analytical, regulatory	shipment statuses, electronic consignment notes, help pages, personal account portals, dashboards
Intended recipient	B2C, B2B, internal, partner-facing, government-facing	customer notifications, an API for an online store, sorting terminal instructions, e-TTN
Degree of structure	structured, semi-structured, unstructured	JSON/API request, electronic form, photograph, customer inquiry text
Stage of the logistics cycle	pre-dispatch, transportation, warehousing, delivery, post-service	rate calculation, route, scanning, arrival push notification, claim
Integration method	manual, portal-based, mobile, API/EDI, platform-based	mobile application, business portal, CRM or ERP integration, e-TTN

Source: compiled by the author based on a synthesis of [4-10; 11; 14].

Figure 1 presents the digital content life cycle. The basic unit of the proposed model is a verified record of a logistics event. At a minimum, this record should contain a shipment identifier, an event identifier, the event type, its source, the time the event actually occurred, the time it was recorded, its version, and the access level. For a document, the parties' authority and the link to the previous version are also recorded; for a forecast, the calculation time and uncertainty bounds are specified. Such a record provides a basis for maintaining consistency across messages, but does not imply that all enterprise data must be stored in a single physical database.

The proposed life cycle is not a unidirectional message-production process. Address clarification, a change of recipient, or the correction of an erroneous event returns the process to the verification stage. A historical record should not be silently replaced with a new one: links between versions must be maintained, and interested parties should be notified of corrections where necessary. The ability to reconstruct the sequence of changes is what distinguishes managed content from a set of current values displayed on a screen.

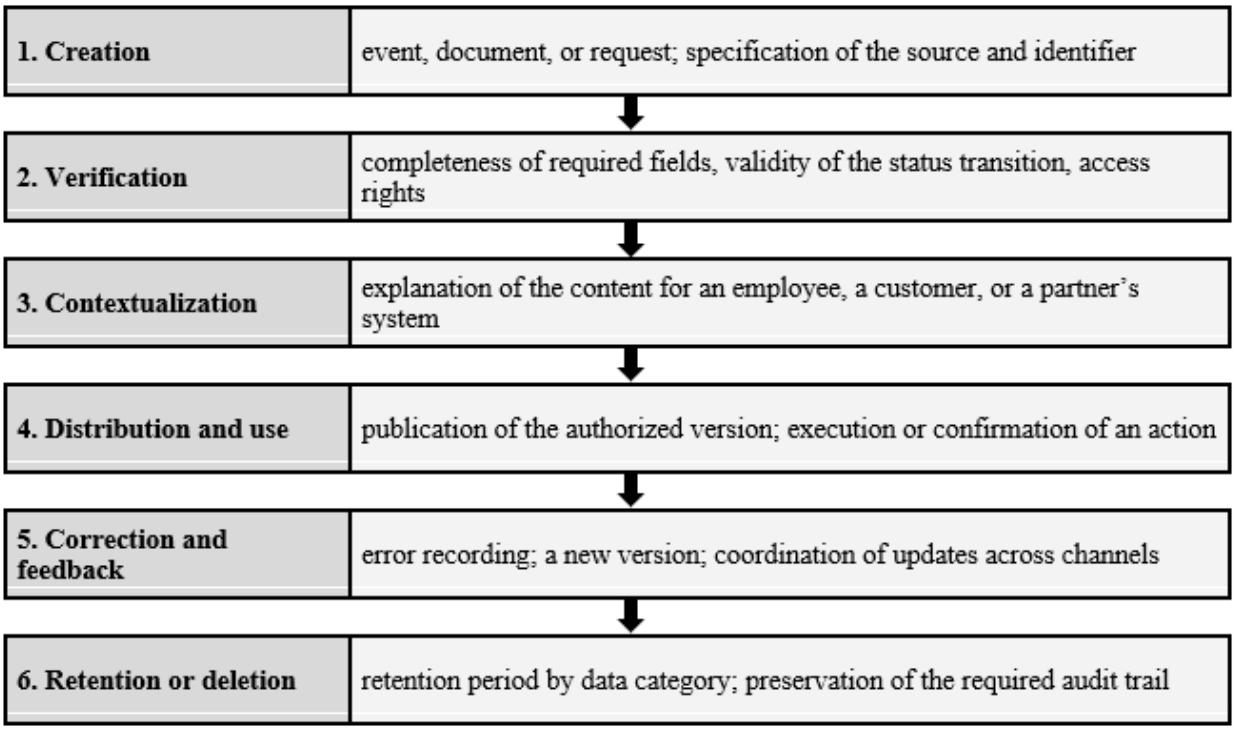


Figure 1. Digital content life cycle for a logistics service

Source: developed by the author.

It is essential to distinguish the time an event occurs from the time the corresponding information is published. In the absence of connectivity, an employee may record an already completed action after a delay. In such cases, a content timeliness indicator should capture the delay in notification rather than incorrectly alter the actual delivery completion time. For outdated or unverified records, an explicit indication of how current the information is should be used, rather than creating the appearance of continuous tracking.

Digital content throughout the customer journey for a logistics service encompasses all customer touchpoints with the operator: searching for information, selecting a delivery method, booking a shipment, making payment, handing over cargo, waiting for delivery, receiving a shipment, changing delivery arrangements, returning a shipment, contacting support, and evaluating the service. Each of these touchpoints has a digital content dimension. If a customer cannot quickly find a rate, understand weight restrictions, obtain an accurate status, or change the delivery address, the logistics operator loses not only contact center staff time but also some of the customer's trust.

In a digital environment, customers expect logistics services to enable self-service, offer predictability, and provide personalization. Self-service means being able to book and pay for a shipment, locate a branch, obtain a QR code, or change delivery parameters without necessarily contacting an employee. Predictability entails accurate and timely statuses, an estimated delivery time, clear notifications of changes, and accessible tracking. Personalization involves adapting messages, offers,

recommendations, and interaction workflows to a customer's history, role, shipment types, and communication channel.

In this context, digital content is more than information published on a website. It functions as a 'digital employee' that assists the customer around the clock. For example, a tracking page should answer key questions: where the shipment is, what its current status means, when delivery can be expected, what options are available for changing the route or collection arrangements, and what to do in the event of a delay. If these answers are unclear, customers turn to the contact center, increasing operating costs and staff workload.

An omnichannel approach in logistics allows customers to initiate an interaction on a website, continue it in a mobile application, receive a notification through a messaging platform, confirm receipt using a QR code, and contact support via chat without losing context. To make this possible, digital content must be consistent in meaning while being adapted to each channel. For example, detailed instructions may be published on the website, a brief status delivered in a push notification, a structured response provided by a chatbot, and a complete document made available in the business portal (Table 2).

Table 2

Digital content at key touchpoints in the customer journey for a logistics service

Stage	Customer need	Digital content formats
Service search and selection	quickly understand rates, delivery times, and restrictions	cost calculator, FAQ, service pages, interactive map
Shipment booking	create a consignment note without queuing or errors	electronic form, business portal, mobile application, API
Payment	choose a convenient and secure payment method	online payment, receipt, payment history, outstanding balance notification
Waiting for delivery	view the shipment's location and estimated arrival	tracking, push/SMS/email notifications, statuses, delivery forecast
Collection or redirection	collect conveniently or change the branch or address	QR code, parcel locker instructions, redirection workflow
Post-service interaction	evaluate the service or resolve a problem	NPS/CSAT survey, online claim, chatbot, knowledge base

Source: developed by the author.

Alongside the customer-facing dimension, operational digital content warrants consideration, from the consignment note to the analytical dashboard. Operational digital content is the most critical form of content for delivering a logistics service. It encompasses electronic consignment notes, barcodes, QR codes, scanning records, routes, delivery slots, weight and dimension data, photographic records, exception notifications, warehouse instructions, sorting statuses, and data on couriers and vehicles. Unlike marketing content, operational content must be highly structured, standardized, and machine-processable. Its accuracy determines whether a shipment is

routed correctly, whether duplicate operations are avoided, and whether the customer receives timely information about status changes.

The express waybill is one of the basic elements of operational digital content. Nova Poshta's official materials indicate that customers can create an express waybill independently through the business portal, mobile application, or API [12]. This illustrates a transition from a paper-based, staff-mediated model to a digital workflow in which customers themselves generate the initial content required for a logistics operation. This approach reduces queues, accelerates shipment acceptance, improves data quality, and establishes the conditions for automated information exchange with online stores and business customers' ERP systems.

API content is particularly important in the B2B segment. An API effectively serves as the language of digital interaction between a logistics operator and external systems. Through an API, an online store can create consignment notes, obtain rates, transmit order parameters, track statuses, generate shipment registers, automatically notify buyers, and synchronize financial data. The more comprehensive, clear, and stable the API documentation, the lower the customer's integration costs and the more attractive the logistics operator becomes to e-commerce businesses.

Electronic document management is becoming an important area of development in transport logistics. The Procedure for the Operation of the e-TTN System defines it as an information and communication system established to implement a unified state policy on e-TTN electronic document management and to advance digitalization in domestic freight transportation [2]. The system supports the authorization and connection of electronic document management platforms, real-time interaction among users, the entry of information into the e-TTN database, access to documents by authorized persons, and information protection.

An electronic document is therefore a specific type of digital content with legal, operational, and analytical significance. For a logistics operator, adopting e-TTN requires the integration of internal systems with electronic document management platforms; the standardization of reference data on cargo, carriers, senders, and recipients; and arrangements for applying electronic signatures, storing documents, monitoring statuses, and exchanging data with public authorities. This brings content management into the domain of cybersecurity.

Analytical digital content is generated from operational data. It can take the form of dashboards, reports, forecasts, demand heat maps, terminal workload models, on-time delivery indicators, branch ratings, analyses of repeat inquiries, and maps of problematic routes. Analytical content enables a logistics operator to move from reactive to predictive management: not merely recording a delay, but anticipating its likelihood; not merely analyzing complaints, but identifying content-related causes of dissatisfaction; and not merely displaying a status, but suggesting the most suitable collection option.

A logistics operator requires a defined structure for systematic digital content management. This structure can be described in terms of five interconnected layers: data sources, operational systems, content channels, analytics, and quality management

(Figure 2). Data sources include customers, branch employees, sorting terminals, couriers, vehicles, parcel lockers, online stores, payment systems, public registers, and electronic document management platforms. Operational systems process these data through WMS, TMS, CRM, ERP, tracking, contact center, and electronic document management systems.

Content channels translate internal data into a form that is understandable to the intended recipient. For customers, this may be a mobile application, website, notification, chatbot, QR code, or electronic receipt. For business partners, it may be an API, portal, shipment register, analytical report, or service acceptance certificate. For public authorities, it may be an e-TTN, accompanying document, control record, or electronic signature. For internal staff, it may be an instruction, sorting task, route sheet, risk warning, or performance dashboard.

The analytics layer converts large volumes of digital content into knowledge. For example, repeated customer inquiries about a particular status may indicate that its wording is unclear. An increase in the number of shipment redirections in a particular area may suggest that the branch or parcel locker network needs adjustment. Delays in tracking updates may signal problems with scanning, integration, or staffing. Content analytics thus informs managerial decision-making.

The quality management layer encompasses data standards, reference data, status naming conventions, message templates, API documentation requirements, content update procedures, access rules, cybersecurity, error monitoring, service-level agreement (SLA) monitoring, and data retention policies. Without this layer, digital content may become a disorganized collection of disconnected messages and documents, creating risks for both the operator and the customer.

Data sources	→	**Operational systems**	→	**Content channels**
customers, warehouses, couriers, parcel lockers, partners, government platforms		WMS, TMS, CRM, ERP, tracking, electronic document management, contact center		website, application, API, chatbot, business portal, e-TTN
Data quality and cybersecurity	↔	**Analytics and forecasting**	↔	**Management decisions**

Figure 2. Structure of a logistics operator's digital operations

Source: developed by the author.

The practical role of digital content is evident in the activities of Ukrainian logistics operators, which demonstrate a high degree of adaptation to the digital environment. In 2025, the NOVA Group delivered 522 million parcels and freight shipments, including 29 million international shipments. By early January 2026, its network comprised more than 50,000 service points, including 15,817 branches and 34,186 parcel lockers [17]. Operations on this scale are impossible without well-developed digital content, including statuses, scanning records, route data, electronic consignment notes, notifications, automated integrations, and digital instructions for customers and employees.

Nova Poshta's approach to service provision demonstrates that digital content is becoming part of the business model. The company offers tools for automating business

customers' logistics processes, including shipment creation and management, website and accounting system integration via API and software modules, online contract signing using a digital signature, and the monitoring of financial settlements [11]. This means that the logistics operator effectively provides customers not only with transportation services but also with a digital infrastructure for delivery management.

Ukrposhta is also actively developing its digital channels. Its new mobile application is positioned as a 'personal post office' where customers can manage shipments, create parcel shipments, pay for delivery, track statuses in real time, and receive instant notifications [13]. On its online services page, the operator lists a mobile application, chatbot, personal account portal, and API for e-commerce. The application's features include QR-based identification for collecting shipments without presenting identity documents, automatic status updates, switching between personal and business accounts, searching for a branch's postal code and address, and online payment [14].

A comparison of Ukrainian operators' digital services indicates a shift toward platformization. The logistics operator is becoming a platform on which customers, business partners, and internal employees interact with a common body of data through different interfaces. Competitive advantage thus depends not only on the availability of a mobile application or API, but also on the quality of digital content across these channels: the clarity of statuses, the completeness of documentation, the stability of integrations, the simplicity of workflows, the accessibility of instructions, the personalization of messages, and data security.

Table 3

Examples of digital content in Ukrainian logistics operators' services

Digital channel / service	Nova Poshta	Ukrposhta
Mobile application	consignment note creation, shipment management, notifications, tracking	shipment creation, payment, tracking, notifications, parcel management
Business portal / personal account portal	shipment booking, digitally signed contracts, financial settlements	management of personal and business shipments
API for e-commerce	website and accounting system integration, shipment creation and management	API for e-commerce as part of the online services
Tracking and statuses	shipment tracking through digital channels	real-time status updates without manual searches
QR codes and digital identification	collection and shipment booking through digital interfaces	QR-based identification for collection without presenting identity documents
Electronic document management	online contract signing using a digital signature, electronic consignment notes	online shipment booking and payment

Source: compiled by the author based on [11; 12-14].

Conclusions. The study provides grounds for treating digital content not as an auxiliary information tool or an exclusively marketing instrument, but as a resource in its own right within a logistics operator's activities. It encompasses structured and unstructured data, electronic documents, statuses, messages, digital instructions, service workflows, and analytical outputs that support logistics operations, interaction with customers and partners, and regulatory compliance.

The proposed classification and life cycle model confirm the multilayered nature of digital content and the need for systematic management throughout its creation, verification, contextualization, distribution, correction, and storage. Particular importance should be attached to ensuring accuracy, currency, version control, and the traceability of changes.

The study establishes that digital content directly influences the customer experience, since tracking, notifications, mobile applications, chatbots, QR codes, and personal account portals shape perceptions of the convenience, transparency, and predictability of logistics services. At the same time, operational content in the form of electronic consignment notes, APIs, scanning records, route data, and electronic document management provides the foundation for the automation and analysis of logistics processes.

The practices of Ukrainian logistics operators indicate a gradual transition to a platform-based operating model in which mobile applications, business portals, APIs, tracking systems, and electronic document management form a unified digital environment for interaction. In this context, competitiveness depends not merely on the availability of digital services, but on the quality of their content, data consistency across channels, the simplicity of self-service workflows, and information security.

Digital content management should therefore be integrated into a logistics operator's overall operations and service management system. Further research should focus on developing a set of indicators for assessing digital content quality and determining its effects on operational efficiency, customer satisfaction, and loyalty.

REFERENCES

1. E-commerce economy in Ukraine 2025: revenue of market leaders, market statistics and regions. YouControl.Market. Available at: https://youcontrol.market/blog/iekonomika-e-commerce-v-ukrayini-2025-viruchka-lidieriv-statistika-rinku-ta-rieghioni/ (accessed 03 June 2026).

2. Ministry for Development of Communities and Territories of Ukraine. (2024). Pro zatverdzhennia Poriadku funktsionuvannia systemy elektronnoho dokumentoobihu elektronna tovarno-transportna nakladna [On approval of the Procedure for the operation of the electronic document management system "Electronic Consignment Note"]. Order No. 1491 of 27 December 2024. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0259-25 (accessed 03 July 2026).

3. Kobyliukh, O., & Hirna, O. (2022). Lohistychnyi operator: innovatsiinyi shliakh rozvytku na ukrainskomu ta mizhnarodnomu rynku ekspres-dostavky [Logistics operator: an innovative development path in the Ukrainian and international express delivery market]. Ekonomika ta suspilstvo, 44. (DOI: 10.32782/2524-0072/2022-44-87).

4. Tsikh, H., & Sukhoversha, V. (2024). Lohistyka v konteksti tsyfrovoi transformatsii [Logistics in the context of digital transformation]. Halytskyi ekonomichnyi visnyk, 91(6), 40–48. (DOI: 10.33108/galicianvisnyk_tntu2024.06.040).

5. Kantsedal, N.A., Leha, O.V., & Morozov, Ye.O. (2025). Tsyfrovizatsiia lohistyky: novi tekhnolohii dlia pokrashchennia upravlinnia ta optymizatsii [Digitalization of logistics: new technologies for improving management and optimization]. Ekonomichnyi prostir, 199, 45–51. (DOI: 10.30838/EP.199.45-51).

6. Hurzhii, N., Havran, V., & Sapotnitska, N. (2023). Tsyfrovi tekhnolohii ta yikhnii vplyv na upravlinnia lohistychnymy protsesamy pidpryiemstv [Digital technologies and their impact on the management of enterprises' logistics processes]. Ekonomika ta suspilstvo, 55. (DOI: 10.32782/2524-0072/2023-55-20).

7. Alieksieiev, M., & Nebava, M. (2025). Optymizatsiia osnovnykh upravlinskykh pidkhodiv v lohistytsi v umovakh tsyfrovoi transformatsii [Optimization of key management approaches in logistics in the context of digital transformation]. Ekonomika ta suspilstvo, 76. (DOI: 10.32782/2524-0072/2025-76-38).

8. Ptashchenko, O.V., & Kurtsev, O.Yu. (2025). Tsyfrovizatsiia lohistychnykh protsesiv v suchasnykh umovakh hlobalizatsii: transformatsiini zminy orhanizatsiinoi kultury [Digitalization of logistics processes in the current context of globalization: transformational changes in organizational culture]. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 3(289). (DOI: 10.33216/1998-7927-2025-289-3-54-62).

9. Los, V.O. (2026). Tsyfrova transformatsiia komunikatsiinykh stratehii lohistychnykh kompanii [Digital transformation of communication strategies of logistics companies]. Zdobutky ekonomiky: perspektyvy ta innovatsii. (DOI: 10.5281/zenodo.18670047).

10. Kolomytseva, O., Boiko, A., & Vasylchenko, O. (2024). Kliientskyi dosvid i loialnist do brendu u stratehiiakh marketynhu vidnosyn: analiz ta metodolohichni aspekty [Customer experience and brand loyalty in relationship marketing strategies: analysis and methodological aspects]. Zbirnyk naukovykh prats Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriia: Ekonomichni nauky, 25, 73(2). (DOI: 10.24025/2306-4420.73(2).2024.320718).

11. Nova Poshta. Automation and integration of your business logistics processes. Available at: https://novaposhta.ua/for-business/cooperation/integration/ (accessed 23 July 2026).

12. Nova Poshta. An express waybill must be created to send a shipment. Available at: https://novaposhta.ua/for-business/send/from-branch/ (accessed 03 July 2026).

13. Ukrposhta. The new Ukrposhta app – your personal post office. Available at: https://www.ukrposhta.ua/ua/mobilnyi-zastosunok (accessed 03 June 2026).

14. Ukrposhta. Online services: new app, chatbot in messengers, personal account and API for e-commerce. Available at: https://www.ukrposhta.ua/ua/onlain-servisy (accessed 03 July 2026).

15. Pro elektronnu identyfikatsiiu ta elektronni dovirchi posluhy [On electronic identification and electronic trust services]. Law of Ukraine No. 2155-VIII of 05 October 2017. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/go/2155-19 (accessed 23 June 2026).

1.2. Customer Relationship Management Through CRM Strategy Development

Problem statement Customer relationship management is particularly important for pet food manufacturers, as demand for their products combines regular purchasing with owners' heightened attention to quality, safety and the suitability of the diet for their pets' needs. Consumers assess not only the price and availability of the product, but also the clarity of information about its composition, access to advice and the way the brand responds to enquiries. Under these conditions, a CRM strategy should cover the entire interaction cycle: providing information, supporting product selection, repeat purchasing, handling feedback and developing long-term relationships.

A distinctive feature of manufacturers' operations is their interaction with two groups of customers. Distributors, retail chains and other commercial partners expect convenient ordering, agreed terms of cooperation, access to product information and sales support. Pet owners need relevant information, accessible service and the ability to communicate through a convenient channel. A substantial proportion of purchases by end consumers takes place through intermediaries, so manufacturers do not always have sufficient information to personalise consumer interactions. At the same time, the mere existence of a digital partner portal does not imply an established system for working with end consumers.

The practical problem lies in aligning the B2B and B2C dimensions of CRM in terms of management tasks, service standards and information needs. This alignment involves analysing product availability, aggregated feedback and communication outcomes. The use of individual customer data requires separately defined grounds and voluntary participation in the relevant programmes. The development of digital tools should be accompanied by the identification of responsible departments, performance indicators and the resources needed to support the processes.

It is therefore important to substantiate strategic directions for CRM that take account of pet owners' expectations and the specific features of partner sales. Combining the survey results with an analysis of publicly available materials from Kormotech LLC makes it possible to specify these directions within an individual case. In doing so, it is important to distinguish between recorded responses, verified information about the company and proposed management solutions.

Review of recent research and publications. Ukrainian studies consider CRM a component of customer-oriented management that combines information technology with the organisation of customer interactions. I. Polishchuk links the development of consumer loyalty to the alignment of marketing, sales and service, the use of a unified relationship history and the personalisation of offers [1]. T. Yanchuk and O. Boienko emphasise that CRM implementation entails a transition to a customer-oriented policy for company development; the authors systematise operational, analytical, collaborative and combined CRM solutions [2]. L. Hordieieva-Herasymova focuses on selecting a

system according to its purpose, functional requirements and expected outcomes, as well as on the need to assess implementation costs and conditions [3].

O. Vasylchenko and A. Ilienko explain the conceptual foundations of long-term relationships, identifying trust, an individualised approach and communication as principles of relationship marketing [4]. O. Popko and V. Filatov examine personalisation through the collection and analysis of customer data, the development of individual offers and the monitoring of satisfaction; particular attention is paid to organisational readiness to implement these approaches [5]. T. Ustik and N. Kolodnenko substantiate the value of managing loyalty with regard to the relationship life cycle and the customer orientation of staff [6]. A. Voloboi, A. Mokra, V. Bielozertsev and O. Yelisieieva discuss the concept, design principles and implementation process of CRM systems [7].

These studies make it possible to distinguish between the strategic, organisational and technological components of CRM. For pet food manufacturers, these approaches need to be specified with regard to the distribution of customer contacts between the manufacturer and commercial intermediaries, the recurring nature of purchasing and the role of information about pets' needs. This article focuses on comparing consumer expectations with the tasks of partner interaction and translating the findings into proposals for CRM processes. Publicly available corporate materials are used to describe an individual case, rather than to confirm the universal effectiveness of a particular technology.

Research aim and objectives. The aim of the article is to substantiate directions for developing CRM strategies for pet food manufacturers on the basis of a descriptive analysis of consumer expectations and the case of Kormotech LLC. To achieve this aim, the study seeks to systematise factors relating to product characteristics and functionality, consumer behaviour and communication; identify priorities for interaction with end consumers and commercial partners; and propose monitoring indicators and a phased approach to improving CRM processes. A separate objective is to distinguish between verified research findings and scenario assumptions concerning potential resource and economic effects, taking account of the specific features of the industry.

Methods and data sources. The study combines two levels of analysis. The first covers pet owners' stated preferences, while the second addresses opportunities to improve manufacturers' interactions with commercial partners. The survey is not a study of Kormotech's customer base; its results are used to substantiate general requirements for the consumer-facing dimension of CRM. The corporate example is examined separately on the basis of publicly available information [8–11].

Results and discussion. A questionnaire survey of consumers of products for cats and dogs was conducted to substantiate directions for pet food manufacturers' CRM strategies. The study aimed not only to record individual purchasing preferences, but also to identify the behavioural, information and service factors that influence brand loyalty, repeat purchases and willingness to communicate with the manufacturer. The questionnaire comprised 14 questions covering respondents' socio-demographic

profiles, their pets' characteristics, typical pet food purchasing patterns, selection criteria, information sources, brand satisfaction and desired forms of interaction.

The sample comprised 74 participants, including 51 women and 23 men. Most respondents belonged to the 25–35 age group, an audience that actively uses digital channels, compares products online, relies on reviews and expects brands to respond promptly. This sample structure is important for interpreting the results: the data obtained most fully reflect the behaviour of active urban consumers, for whom pet food is a regular component of pet care rather than an occasional purchase.

The respondents included 51 women (68.9%) and 23 men (31.1%). The largest age group was 25–35 years, with 43 participants (58.1%); 13 participants were aged 18–24 (17.6%), 12 were aged 36–45 (16.2%), 5 were aged 46–60 (6.8%) and 1 was over 60 (1.4%). These data describe the composition of the sample. They do not, in themselves, confirm digital activity, particular motivational characteristics or differences in loyalty between demographic groups.

Among the respondents, 35 owned only cats (47.3%), 22 owned only dogs (29.7%) and 17 owned both cats and dogs (23.0%). Dry pet food was reported as the main type of diet by 34 participants (45.9%), mixed feeding by 18 (24.3%), wet pet food by 10 (13.5%), therapeutic or veterinary pet food by 7 (9.5%) and a natural diet by 5 (6.8%). This diversity of needs supports the use of a pet profile in CRM, including species, age, food preferences and purchase history. The profile should help select relevant information; manufacturers' recommendations do not replace veterinary advice.

Pet food or related products were purchased several times a week by 7 respondents (9.5%), once a week by 17 (23.0%), two or three times a month by 28 (37.8%), once a month by 19 (25.7%) and less frequently by 3 (4.1%). Thus, 71 participants (95.9%) reported purchasing at least once a month. This supports the proposal to use reminders and regular purchasing programmes. However, the reported frequency relates to a broader group of products and does not correspond to the time taken to use up a particular package of pet food.

Monthly expenditure of up to UAH 500 was reported by 7 participants (9.5%), UAH 501–1,000 by 21 (28.4%), UAH 1,001–2,000 by 30 (40.5%), UAH 2,001–3,000 by 10 (13.5%) and more than UAH 3,000 by 4 (5.4%); 2 participants were unsure (2.7%). The responses of 51 participants (68.9%) fell within the UAH 501–2,000 range. For CRM, this provides a basis for considering different offers according to household budgets, although the question does not measure precise purchasing power or willingness to pay for a particular brand.

The most common place of purchase was a pet shop, with 24 responses (32.4%). An online shop was reported by 19 participants (25.7%), a marketplace by 12 (16.2%), a supermarket by 9 (12.2%), a veterinary clinic or pharmacy by 6 (8.1%), the brand's official website by 3 (4.1%) and another location by 1 (1.4%). The substantial role of intermediaries means that data about end consumers may be unavailable to the manufacturer. Proposed methods of establishing direct contact include registration in a loyalty programme, a QR code on the packaging, advice and voluntary verification of

purchases. Their implementation requires separate agreements with partners and data quality control.

In the question allowing respondents to select between one and three of their most frequently purchased brands, Royal Canin received 25 mentions (33.8%), Purina / Pro Plan 22 (29.7%), Club 4 Paws 18 (24.3%), Brit 14 (18.9%), Optimeal 12 (16.2%), Josera 8 (10.8%) and other brands 15 (20.3%). These percentages represent mentions within the sample, rather than manufacturers' market shares. Purchasing several brands also does not make it possible to determine customer churn or disloyalty without additional data.

The quality of the formulation received the highest mean rating, at 4.62 points; suitability for the pet's needs received 4.55, and veterinary recommendation 4.38. Price received 4.03 points, discounts and promotions 3.62, reviews from other consumers 3.57, purchasing convenience 3.46 and brand recognition 3.24 (Figure 1). For the respondents, explanations of product attributes are an important component of interaction. However, differences between means without an assessment of variance do not establish that one factor is statistically more important than another. Communication should centre on the composition, intended use and instructions for use of the product, together with an explanation of its price.

Respondents identified the following sources of information about pet food: a veterinarian, reported by 46 participants (62.2%); reviews on websites and marketplaces, 41 (55.4%); acquaintances, 32 (43.2%); brands' social media, 29 (39.2%); a sales adviser, 21 (28.4%); online advertising, 18 (24.3%); the manufacturer's website, 16 (21.6%); and blogs or video reviews, 15 (20.3%). The combination of professional and consumer sources supports the development of advisory content and the management of reviews.

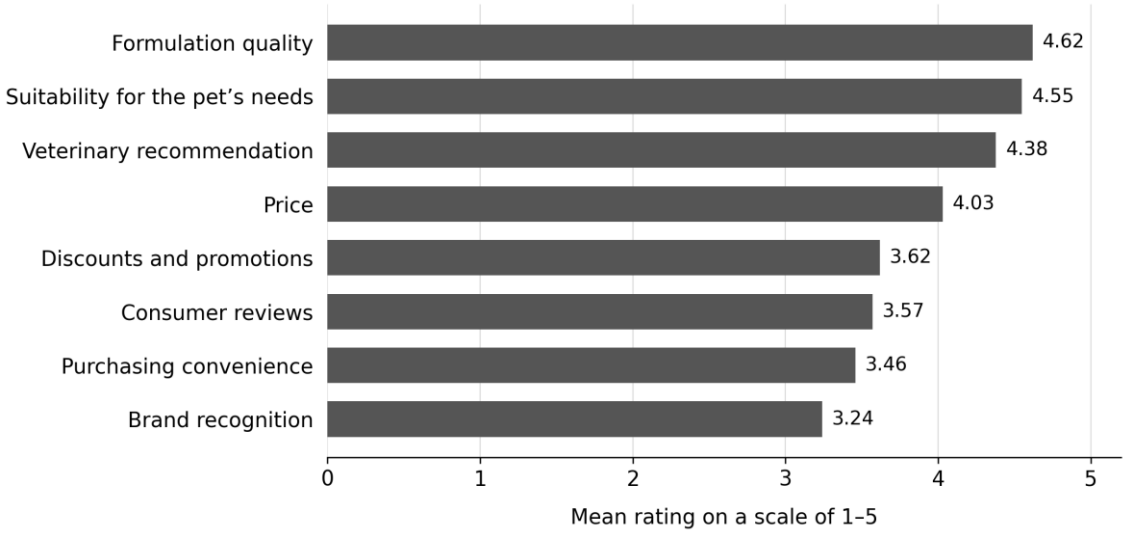


Figure 1. Mean ratings of pet food selection factors on a scale of 1–5

Source: prepared by the author based on the survey.

Satisfaction with the most frequently purchased brand was rated at 1 point by 1 participant, 2 points by 4, 3 points by 18, 4 points by 37 and 5 points by 14. Ratings of 4–5 accounted for 68.9%, and the mean rating was 3.80 points. This result describes

current reported satisfaction. It does not measure actual customer retention or willingness to recommend the brand, and should therefore not be equated with loyalty indicators or NPS.

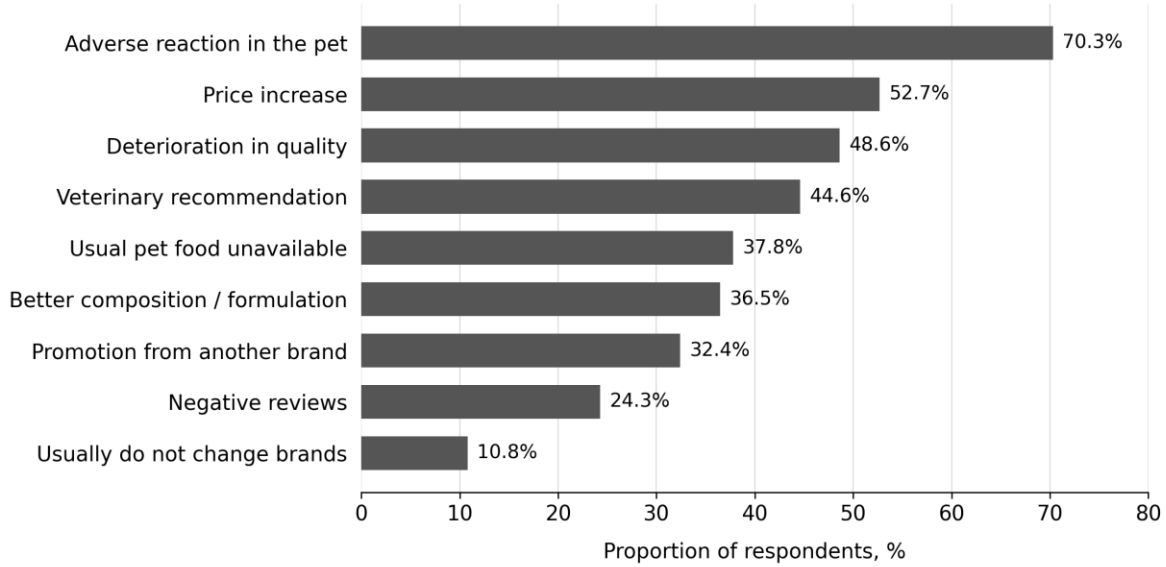


Figure 2. Reported circumstances that could prompt a change of brand
Source: prepared by the author based on the survey.

The pet's adverse reaction was identified as a possible reason for changing brands by 52 participants (70.3%), a price increase by 39 (52.7%) and a deterioration in quality by 36 (48.6%). These were followed by a veterinary recommendation, with 33 responses (44.6%); the unavailability of the usual pet food, 28 (37.8%); a better composition or specialised formulation, 27 (36.5%); a promotion from another brand, 24 (32.4%); and negative reviews, 18 (24.3%). Eight participants (10.8%) stated that they usually do not change brands. The results provide a list of reported risks, rather than measured causes of actual customer churn. The corresponding CRM workflows should provide for the recording of enquiries, pet food batch traceability, advice and monitoring of recurring complaints.

The forms of interaction considered most useful by the respondents were personalised discounts, reported by 51 participants (68.9%); a loyalty programme, 47 (63.5%); individual recommendations, 44 (59.5%); and repeat purchase reminders, 34 (45.9%). Advice from a specialist was reported by 31 participants (41.9%), pet care materials by 29 (39.2%), gifts or trial packs by 28 (37.8%) and the opportunity to receive a response to a review by 24 (32.4%). This supports combining economic incentives with service benefits, in line with approaches to personalisation and loyalty management [5; 6].

To receive information, 48 participants selected messaging apps (64.9%), 37 social media (50.0%), 22 email (29.7%), 16 SMS (21.6%), 15 the brand's app (20.3%), 13 an online account (17.6%) and 4 a call from an adviser (5.4%). Eight respondents (10.8%) did not wish to receive messages. Personalisation should therefore take account not only of the content of an offer, but also of consent to communication, its frequency and

the option to opt out. Preferences for several channels do not confirm the use of a particular channel by a specific segment without an analysis of the original responses (Table 1).

Table 1

Translating consumer findings into CRM strategy priorities

Factor category	Finding in the sample	Management proposal
Trust in the product	High ratings for quality of the formulation, suitability for the pet's needs and veterinary recommendations	Pet profile; product information; advisory support
Purchase regularity	95.9% purchase pet food or related products at least once a month	Reminders after verifying the consumption cycle; rewards for regular purchases
Risks of brand switching	Adverse reactions in the pet – 70.3%; price increases – 52.7%	Recording complaints; monitoring quality and availability; personalised alternatives
Communication preferences	Messaging apps – 64.9%; 10.8% do not wish to receive messages	Choice of channel and frequency; useful messages; easy opt-out

Source: compiled from the survey findings.

The proposed CRM strategy covers the relationship life cycle. At the customer acquisition stage, consumers need accurate information about pet food characteristics and accessible advice; at the first purchase, a clear transition to a new diet; and during repeat purchasing, convenience and relevant reminders. Retention requires timely handling of complaints and supply disruptions. Behavioural segments based on the species of pet, purchasing frequency and the need for specialised pet food represent a proposed logic for organising data, rather than the result of clustering this sample.

For a pet food manufacturer, CRM combines consumer support with the management of relationships with distributors and retail partners. Kormotech's report following FMCG Future Focus 2025 describes a B2B portal providing personalised news and promotional materials, order placement, monitoring of account settlements and purchasing analytics. The company set a target for the following two years: to attract 600 active clients and develop the portal into an analytics hub [8]. This confirms the direction of digitalisation, but does not demonstrate that the target coverage has actually been achieved.

In 2024, Kormotech Group reported turnover of USD 162.7 million and sales of 83 thousand tonnes of pet food [9]. For the Ukrainian legal entity, Kormotech LLC, net sales revenue in 2024 amounted to UAH 5,335.858 million, while net profit was UAH 276.687 million [10]. These figures relate to different reporting levels and are not interchangeable. Only the Ukrainian legal entity's data are used in the scenario calculations in hryvnias below.

Publicly available materials provide a basis for identifying potential areas for development that should be assessed through an internal audit. These include the consistency of partner master data, the quality of order histories, the availability of customer service information and the use of forecasts in production and logistics

planning. The actual existence of fragmented databases or shortcomings in handling enquiries has not been established. The corporate announcement of transformation through RISE with SAP confirms the company's attention to the integration of management information [11]; it does not disclose the state of specific CRM processes (Table 2).

Table 2

Potential areas for CRM development and indicators for their assessment

Area	Proposed improvement	Indicator for internal assessment
Customer data	Aligning master data; eliminating duplicate records; assigning responsibility for data	Proportion of complete records; number of duplicates; update time
Partner engagement	Phased onboarding to the portal; training; personalised marketing support	Active users; proportion of digital orders; purchase regularity
Direct contact with consumers	Voluntary loyalty programmes; pet profiles; separate records of contacts with pet owners	Active participants; repeat purchases; messaging opt-outs
Service and quality	A unified register of enquiries and complaints; classification of reasons; response deadlines; batch traceability	Time to first response; compliance with deadlines; recurring complaints
Demand planning	Transferring aggregated forecasts and promotional plans to production planning	Forecast error; stockouts; excess inventory

Source: the author's proposals based on [7; 8; 11].

Coordinating the consumer and partner dimensions of CRM requires separate records for individuals and business counterparties. Links between them should be established through products, purchase channels, service enquiries and aggregate demand. The survey findings do not justify automatically combining buyers' personal data with retail chains' databases. The purposes of data use, access rules and updating procedures need to be agreed. Integration with sales and operations planning (S&OP) may help account for seasonality, promotional activities and anticipated repeat purchases.

A scenario assessment of the potential for improvement is presented below. Public sources do not disclose actual CRM expenditure, order volumes or processing times. The assessment is therefore illustrative. According to the financial statements, the net profit margin for 2024 is 276.687 / 5,335.858 × 100% = 5.1854%, or approximately 5.19%. The rounded coefficient of 0.0519 is used to ensure that the calculations can be reproduced. It provides an approximation for converting revenue growth into a profit equivalent, rather than an established incremental margin for the CRM project (Table 3).

Table 3

Input data and the author's assumptions for the scenario model

Parameter	Value
Net sales revenue in 2024	UAH 5,335.858 million

Parameter	Value
Net profit in 2024	UAH 276.687 million
Revenue-to-profit conversion factor	5.19%
Active portal users, N	600
Proportion of revenue covered by CRM, α	30%
Orders per partner per month	2
Processing time before / after automation	25 / 10 minutes
Hourly labour cost, c_h	UAH 332.885
Reduction in error rate / cost per error	1 percentage point / UAH 800
Initial investment, I_0	UAH 6.5 million

Source: the author's analysis based on [8; 10].

$$D_p = D_{2024} \times \alpha \quad (1)$$

where D_p is the hypothetical revenue of the segment covered by CRM; D_{2024} is the Ukrainian legal entity's net sales revenue; and α is the assumed coverage share. With α = 0.30, the result is UAH 1,600.757 million. With N = 600, the hypothetical annual revenue per active partner is UAH 2.668 million. This is an arithmetic benchmark within the model and does not describe the actual structure of the partner base.

$$T_{save} = \frac{N_{ord} \times (t_0 - t_1)}{60} \quad (2)$$

where T_{save} is the working time released, in hours per year; $N_{or}d$ is the annual number of orders; and t_0 and t_1 are processing times before and after automation, in minutes. Under the assumed parameters, $N_{or}d$ = 600 × 2 × 12 = 14,400, and T_{save} = 14,400 × 15 / 60 = 3,600 hours. The resource value of this time is 3,600 × 332.885 = UAH 1.198 million. The modelled reduction in error-related costs is 14,400 × 0.01 × 800 = UAH 0.115 million. Together, these yield UAH 1.314 million in potential operational benefits.

$$E_{res} = T_{save} \times c_h + N_{ord} \times \Delta e \times c_e + D_p \times g \times m \quad (3)$$

where E_{res} is the illustrative aggregate resource benefit, in UAH/year; c_h is the assumed cost of one working hour, in UAH/hour; Δe is the reduction in the proportion of errors; c_e is the cost of one error; g is the scenario revenue growth rate for the CRM segment; and m = 0.0519 is the approximate coefficient used to convert that growth into a profit equivalent. All monetary parameters in the equations are expressed in hryvnias; the results presented in the tables are converted into millions of hryvnias. The model combines a resource valuation with an illustrative profit equivalent of additional sales. It is not an accounting calculation of the project's net profit or cash flow.

In the base case scenario, the aggregate resource benefit is approximately UAH 3.806 million per year, and the ratio of assumed investment to this effect is 1.71 years. The latter figure should be used for an initial comparison of scenarios. It cannot

be interpreted as a confirmed financial payback period. Released working time translates into a financial benefit only if it reduces expenditure, avoids additional recruitment or is used for productive work. Revenue growth also requires consideration of additional production costs, promotional expenditure and working capital (Table 4).

Table 4

Scenario results for revenue growth in the CRM segment

Scenario and growth rate	Additional revenue, UAH million	Profit equivalent, UAH million	Aggregate resource benefit, E_{res}, UAH million	Indicator I_0 / E_{res}, years
Conservative, 1%	16.008	0.831	2.144	3.03
Base case, 3%	48.023	2.492	3.806	1.71
Ambitious, 5%	80.038	4.154	5.468	1.19

Source: the author's calculations using the data in Table 3.

For an investment decision, the model should be supplemented with the proportion of released time that is actually monetised, annual expenditure on licences, support and training, a partner onboarding schedule and an assessment of tax implications. Cash flows should be calculated consistently on the same accounting basis, checked for double counting of savings and discounted. The net profit margin recorded in 2024 does not guarantee an equivalent return on additional sales. The results presented indicate the order of magnitude of potential improvements and the parameters that should be measured first.

Conclusions and further research. The study's findings clarify the directions for developing a CRM strategy for pet food manufacturers by combining factors relating to product characteristics and functionality, consumer behaviour and communication. In the sample of 74 respondents, the highest mean ratings on a five-point scale were recorded for quality of the formulation (4.62) and suitability for the animal's needs (4.55). Desired forms of interaction included personalised discounts, loyalty programmes and individual recommendations. This supports considering economic incentives alongside useful information and customer service support.

The Kormotech LLC case study indicates the potential value of coordinating digital interaction with business partners and separate mechanisms for obtaining feedback from end consumers. The proposed priorities are data quality, coordination between sales and customer service, monitoring order fulfilment, handling enquiries and assessing repeat purchases. Phased implementation, pilot testing and comparison of indicators before and after the changes are appropriate for pursuing these directions.

The findings are exploratory and relate to the surveyed group and the case examined. They do not establish a causal effect of CRM on loyalty or financial performance. Further research should focus on expanding the sample, examining differences between customer segments and analysing the actual results of the CRM project. The scenario estimates of resource benefits require refinement using the company's internal data; they do not confirm actual payback or effectiveness.

References

1. Polishchuk, I. I. (2021). CRM-systema yak osnova formuvannia spozhyvchoi loialnosti [CRM system as a basis for consumer loyalty]. Ekonomichnyi zhurnal Odeskoho politekhnichnoho universytetu, 3(17), 76–80. https://doi.org/10.15276/EJ.03.2021.11 [in Ukrainian].

2. Yanchuk, T. V., & Boienko, O. Yu. (2023). Vprovadzhennia CRM-system yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti marketynhovoi diialnosti [CRM implementation to improve marketing effectiveness]. Ekonomika ta suspilstvo, 48. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-89 [in Ukrainian].

3. Hordieieva-Herasymova, L. (2022). Vprovadzhennia CRM-systemy na pidpryiemstvi [CRM implementation at an enterprise]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky, 6(2), 115–118. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-312-6(2)-21 [in Ukrainian].

4. Vasylchenko, O., & Ilienko, A. (2024). Marketynh vidnosyn yak suchasna kontseptsiia marketynhu [Relationship marketing as a modern marketing concept]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky, 3, 274–278. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-330-54 [in Ukrainian].

5. Popko, O. V., & Filatov, V. V. (2023). Personalizatsiia v suchasnomu marketynhu ta yii vplyv na loialnist kliientiv [Personalisation in modern marketing and its impact on customer loyalty]. Ekonomika ta suspilstvo, 58. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-10 [in Ukrainian].

6. Ustik, T. V., & Kolodnenko, N. V. (2024). Zaprovadzhennia marketynhovykh instrumentiv dlia pidvyshchennia loialnosti kliientiv [Marketing tools for improving customer loyalty]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky, 1, 208–214. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-326-34 [in Ukrainian].

7. Voloboi, A., Mokra, A., Bielozertsev, V., & Yelisieieva, O. (2022). Informatsiini tekhnolohii v systemi upravlinnia vzaiemovidnosyn z kliientamy [Information technologies in customer relationship management]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky, 3, 278–281. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-306-3-41 [in Ukrainian].

8. Kormotech. (n.d.). Yak Kormotech zminiuie kulturu B2B-partnerstva [How Kormotech transforms B2B partnerships]. https://kormotech.com/uk/articles/ak-kormotech-zminue-kul-turu-b2b-partnerstva-eduard-babenko-na-fmcg-future-focus-2025-conference (accessed September 30, 2026) [in Ukrainian].

9. Kormotech. (n.d.). Hrupa kompanii Kormotech zavershyla 2024-i iz 162,7 miliona dolariv oborotu [Kormotech Group completed 2024 with USD 162.7 million turnover]. https://kormotech.com/uk/articles/grupa-kompanij-kormotech-zaversila-2024-j-iz-162-7-mil-jona-dolariv-oborotu (accessed September 30, 2026) [in Ukrainian].

10. Kormotech LLC. (2025). Zvit pro upravlinnia za 2024 rik [Management report for 2024]. https://kormotech.com/uk/articles/finansova-zvitnist (accessed September 30, 2026) [in Ukrainian].

11. Kormotech. (n.d.). Transformuiemo Kormotech za dopomohoiu RISE with SAP [Transforming Kormotech with RISE with SAP].

https://kormotech.com/uk/articles/transformuemo-kormotech-za-dopomogou-rise-with-sap (accessed September 30, 2026) [in Ukrainian].

1.3. The Gig Economy Between Flexibility and Vulnerability: Impact on the Resilience of Ukrainian Business

Over the past decade, a new type of social-labor relationship known as the "gig economy" has been actively emerging in Ukraine and worldwide. Its rapid expansion has been driven by the digital transformation of the economy, the growth of employment platforms, and the rising popularity of remote work and freelancing; these developments have provided companies with access to a flexible workforce while offering workers new opportunities for professional self-realization. Thanks to high adaptability, reduced transaction costs, and the ability to rapidly access necessary expertise, the gig economy is increasingly viewed as a key tool for enhancing business efficiency in a dynamic market environment. At the same time, the spread of the gig model is accompanied by a number of contradictions. Along with the advantages associated with the flexibility of labor organization, it increases employment instability, limits social protection of workers, changes traditional forms of labor relations and creates new challenges for state regulation. That is why the gig economy is increasingly considered not only as a source of competitive advantages, but also as a factor of socio-economic vulnerability. For Ukraine, the development of the gig economy gained special importance in the conditions of a full-scale war. If by 2022 its spread was mainly due to digitalization, globalization of the labor market and the development of platform business models, then in modern conditions the determining factor was the need to ensure the continuity of enterprises' activities and their adaptation to unprecedented risks. Business relocation, employee mobilization, forced population migration, disruption of logistics chains and high uncertainty have forced enterprises to look for new forms of labor organization, among which the gig model has become one of the most affordable mechanisms for quickly attracting human capital and optimizing costs. This is confirmed by the increase in the level of informal employment in territorial communities to approximately 26.2% in 2024 [1]. According to other experts' estimates, about 30% of those in work are involved in the informal employment sector (in 2021, the informal employment rate was 12.3%) [2]. In this context, the gig economy appears as an ambiguous phenomenon. On the one hand, it increases the adaptability of enterprises, promotes the rapid recovery of business processes and strengthens organizational resilience. On the other hand, the widespread use of non-standard forms of employment can increase personnel instability, reduce the level of organizational loyalty, complicate the accumulation of human capital and create additional risks for the long-term sustainability of enterprises. This is primarily due to the fact that the mobilization of a large part of the able-bodied male population has led to a sharp reduction in the available personnel resources, as a result of which enterprises have lost some experienced professionals without the possibility of their rapid replacement within the traditional recruitment mechanisms. The forced migration of millions of citizens both within the country and abroad also had a significant impact, due to which

there was a geographical dispersion of labor potential, due to which employers found themselves faced with the need to either lose qualified workers or switch to remote formats of cooperation. The relocation of enterprises from war zones and temporarily occupied territories was accompanied by the rupture of established production chains, which forced the management of companies to look for alternative sources of labor in new locations. Continuous production disruptions caused by massive strikes on energy infrastructure and air alarms made it necessary to have a flexible personnel reserve capable of compensating for the temporary unavailability of full-time employees. Martial law created a need for the rapid launch of new areas of activity - from the production of dual-use goods to reorientation to new sales markets, which required the involvement of highly specialized experts on a short-term basis. Finally, the expansion of cooperation with foreign clients and partners, as well as the mass spread of teleworking, created a favorable environment for the integration of Ukrainian business into global gig platforms.

As a result of the listed factors, an increasing number of Ukrainian enterprises began to systematically work with freelancers, project teams, independent consultants, experts "on demand", specialists from other regions of Ukraine and international performers [2; 3]. This posed a fundamental question for researchers and management practitioners, which has not yet received a comprehensive answer: does the gig-employment model really make businesses more resilient to crisis shocks, or, on the contrary, does it increase the vulnerability of the enterprise, generating new types of risks? The relevance of this issue is due to the fact that the formation of well-founded management recommendations regarding the optimal ratio of full-time and gig personnel in the conditions of a protracted war and post-war economic recovery depends on its solution. Therefore, the study of the influence of the gig economy on the resilience of Ukrainian business is relevant from both a scientific and a practical point of view. Particular attention is needed to analyze the balance between the flexibility provided by gig employment models and the vulnerability arising from the spread of non-standard labor relations, as well as to determine the conditions under which the use of gig work will contribute to strengthening the stability of Ukrainian enterprises in the post-war period.

The concept of organizational resilience is traditionally defined as the ability of an enterprise not only to withstand adverse external influences, but also to adapt to them and use the crisis as an impetus for development. Because resilience is a multidimensional concept that encompasses both the ability to respond quickly and the ability to maintain operational continuity, researchers identify several interrelated components of this phenomenon, including the ability to anticipate threats, the ability to adapt to change, and the ability to recover from crisis events. At the same time, the gig economy, which is understood as a set of economic relations based on short-term, project-based forms of employment mediated by digital platforms, became widespread in the global practice of human resources management long before the full-scale war. However, the specificity of the Ukrainian context lies in the fact that the spread of the gig model is determined not so much by technological or economic factors as by the

existential need for business survival in the conditions of armed conflict, which gives the Ukrainian case a special scientific value for comparative studies of organizational stability.

Despite a significant array of publications devoted separately to business resilience and separately to the gig economy, the relationship between these two phenomena in wartime conditions remains insufficiently researched, since most of the available works are based on peacetime empirical material or analyze the consequences of pandemic, not war upheavals. This forms a research gap that the proposed research is designed to fill.

The results of scientific publications of different countries indicate different experiences. In particular, a number of articles justify that the development of the gig economy has a significant negative impact on the employment of persons of working age [4], transforms the traditional idea of career development, because it acquires the character of a network movement and is accompanied by greater uncertainty [5]. Other studies emphasize that the gig economy contributes to environmental sustainability by optimizing resource use as well as economic stability, creating income opportunities and maintaining work-life balance, under conditions that promote equity and gaps in the social protection system [6]. The spread of informal employment constitutes another significant, albeit contradictory in nature, factor to be taken into account when analyzing the organizational resilience of Ukrainian business in wartime, since, unlike gig work, which is mostly a legal form of involvement of external performers, informal employment unfolds outside the official legal field and reflects rather the forced reaction of enterprises and employees to crisis conditions than conscious management choices [8].

Scientists, when examining socio-economic resilience, stress the complexity and multidimensionality of the phenomenon in question, which takes into account not only financial and economic parameters, but also the state of human capital as an equivalent factor in ensuring sustainability [9]. They propose the development of an adaptive resistance cycle that combines risk forecasting, protection, adaptation and integration into a single closed system. This approach allows not only to take into account uncertainty as a norm of functioning, but also to transform it into a source of strategic opportunities and long-term business development [10]. The increase in the share of informally employed workers is due to a complex of interrelated factors, including a high tax burden, burdensome bureaucratic barriers for small and microbusinesses, a low level of trust in state institutions, as well as the widespread practice of non-payment of official wages in the absence of an effective system of control and punishment. It is significant that a specifically military factor, which additionally stimulated the transition to the shadows, was the requirement to register men as a prerequisite for official employment, as a result of which part of the working population deliberately avoids the legalization of labor relations. Since informal employment is most prevalent in agriculture, commerce, construction and the hotel and restaurant sector [8; 11; 12], that is, in industries with a significant share of small and micro-businesses, it can be argued that it is the least protected segments of the economy

that appear most vulnerable to the shadowing of labour relations. In the resistance model, informal employment can be considered as a specific, extremely risky type of flexible workforce involvement, the effect of which for the sustainability of the enterprise is deeply contradictory. On the one hand, the shift to informal pay schemes allows individual employers to maintain operational activities in conditions of acute economic uncertainty, where legalization of staff is an unbearable financial or administrative burden, and therefore, in the short term, informal employment performs a function similar to that of business continuity in the gig work model, as it enables the enterprise to retain a human resource capacity that would otherwise have to be reduced. At the same time, informal employment gives workers access to alternative sources of income, often exceeding social benefits from unemployment, and serves as a mechanism for rapid professional reorientation and acquisition of new skills at relatively low costs, and in some cases becomes a microenterprise incubator, when self-employment is gradually transformed into a formal business with the creation of new legal jobs.

On the other hand, these positive effects are mainly temporary and compensatory, not structural, so they should not be interpreted as a sign of true organizational sustainability. Since informal employment deprives employees of social protection, insurance experience and pension savings, it increases the long-term vulnerability not only of the individual employee, but also of the enterprise as a whole, which, relying on vulnerable personnel, is exposed to increased risks of sudden staff turnover, lack of legal guarantees for the fulfillment of obligations and the impossibility of officially confirming the qualifications of employees to partners or investors. Moreover, since shadow employment is accompanied by the State's under-receipt of budgetary and social revenue, it weakens the institutional environment as a whole and therefore indirectly undermines the same macroeconomic stability on which the resilience of the entire entrepreneurial ecosystem depends, including enterprises operating purely in the formal sector.

The comparison of this phenomenon with the hypothesis of the curvilinear, dome-shaped nature of the connection between the flexibility of personnel support and resilience allows us to put forward an additional theoretical clarification: if gig work, under proper management, is able to remain in the "upward" part of the curve for a long time, then informal employment, due to its extralegal nature, a priori carries an increased risk of the rapid transition of the enterprise to the "downward" part of this dependence, since its accompanying risks are legal reputational and personnel - are not subject to systematic management control to the extent possible for legal forms of flexible employment. Therefore, it is advisable to consider informal employment not as a managerial alternative to the gig model, but as an indicator of the crisis state of the enterprise, which has a significant impact on the resilience of the enterprise (Fig. 1).

Overcoming factors that have a negative impact requires less improvement of internal HR practices than systemic changes at the level of state policy, such as simplification of labor legislation, reduction of formalization barriers and restoration of trust in social protection institutions and the labor market.

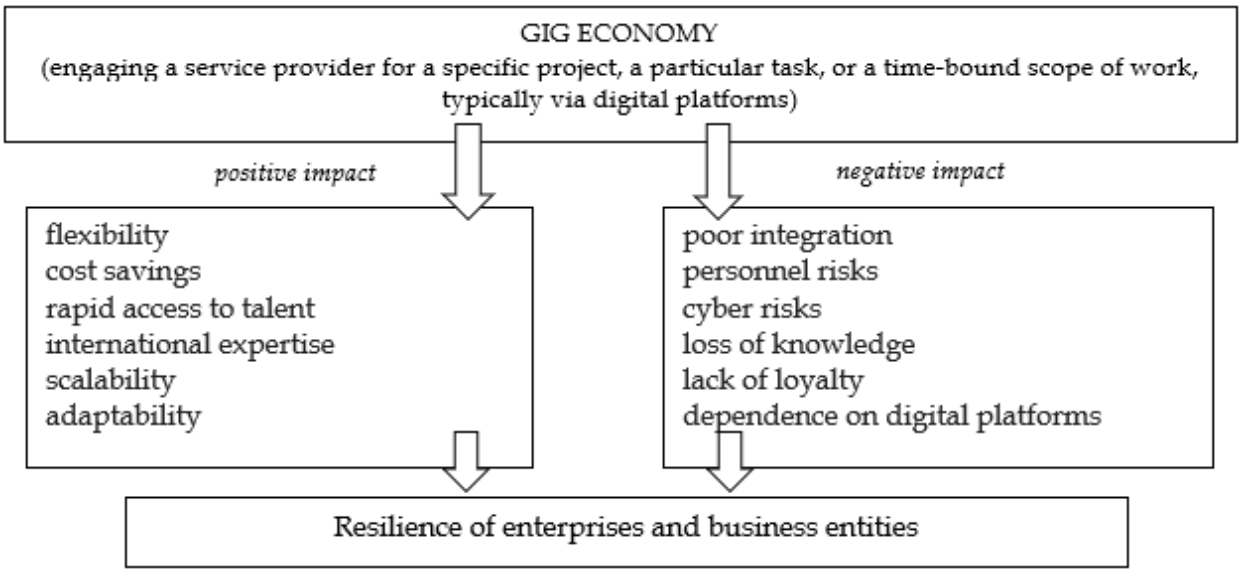


Fig.1. Impact of the gig economy on business resilience
Source: Author's own elaboration

In general, companies expect the problem of personnel to increase. According to the results of the study, 78% of companies said that they already experience a shortage of employees in their field. By comparison, in 2025,0% of respondents reported such a problem [13].

The core of the enterprise should be made up of key full-time employees who ensure strategic competencies, knowledge accumulation and corporate culture. The biggest business mistake during the crisis is to translate critical functions into gig format. It is advisable to involve gig workers only for project work in specific peak loads, for the performance of highly specialized tasks, innovative projects, entering new markets and promptly covering personnel gaps. It is appropriate to divide large blocks of work into autonomous modules with clear criteria for the performance of work. This will allow you to quickly replace the executor in case of an unforeseen situation without stopping the entire project. Mechanisms for knowledge transfer, digital security, standardization of communication and integration of external actors into work processes should be implemented.

As the long war fundamentally changed the functional purpose of the gig economy, transforming it from the tool of efficiency improvement and cost reduction that it mostly remained in peacetime to a mechanism for ensuring business continuity, adapting to extreme uncertainty and increasing organizational resilience. It is advisable for Ukrainian enterprises to abandon the opposition between full-time and gig employment and switch to a hybrid personnel model that combines both formats in a single personnel management system.

When forming a hybrid model, the management of the enterprise should clearly distinguish two functional contours of personnel: a stable personnel core that concentrates carriers of critical knowledge, strategic competencies and corporate culture, and a flexible periphery formed by gig workers, the involvement of which

allows to quickly compensate for personnel gaps caused by mobilization, relocation or evacuation. Since the very core of the staff ensures the accumulation and retention of organizational knowledge, while the periphery ensures adaptability, the enterprise should determine for each functional area of the business the optimal ratio between these two circuits, based not on immediate economic benefit, but on the long-term strategic importance of the corresponding function.

Taking into account that in the conditions of war, the enterprise may lose part of its full-time staff at one time, it is advisable to form a previously verified pool of reliable gig performers and consultants in advance, with whom the framework conditions of cooperation have already been agreed, which allows them to be involved in the work for several days, not weeks, in the event of a crisis situation. This approach transforms gig personnel from a situational resource into an element of a pre-planned anti-crisis infrastructure of the enterprise. Since excessive dependence on external performers without proper documentation of the results of their work creates a risk of loss of critical knowledge after the completion of cooperation, the enterprise needs to implement mandatory procedures for recording and transferring the achievements of gig personnel to the company's internal knowledge base, which allows maintaining the accumulated expertise regardless of whether cooperation continues with a specific performer.

Since the nature of gig work involves a much higher level of independence of the performer in the organization of his own time and work methods compared to full-time personnel, the enterprise should avoid the mechanical transfer of traditional control tools (rigid schedule, detailed regulation of the work process) to gig employees, instead focusing on management by the result - a clear definition of the expected product, terms and quality criteria for preserving the performer's freedom in choosing a method of achieving the result.

GIG workers, despite the lack of a formal labor status, remain full-fledged participants in the production process of the enterprise, therefore it is advisable for the management to extend to them the basic principles of humane treatment, which are traditionally applied to full-time personnel, in particular, respect for personal boundaries, taking into account the psychological state in conditions of constant military stress, flexibility in planning deadlines in case of force majeure (air alarms, power outages, evacuations) and rejection of practices that exploit the vulnerable position of the performer caused by the economic instability of wartime. Given that gig staff, due to the lack of formal labor protection, are structurally more vulnerable to discriminatory practices than full-time employees, the company should develop internal policies that guarantee equality of pay conditions regardless of employment status with a comparable scope and complexity of tasks, prevention of discrimination based on place of stay (in particular, regarding employees who have been relocated or are abroad), as well as transparency of selection and evaluation criteria for gig performers.

Since the legal status of gig workers in Ukrainian legislation remains insufficiently regulated, it is expedient for the enterprise to independently formalize contractual

relations in such a way that they clearly define the issues of confidentiality, intellectual property, the payment procedure in case of force majeure in wartime and dispute resolution mechanisms, which allows minimizing legal risks while simultaneously ensuring the basic level of protection of the executor.

Gig workers are mostly not integrated into the daily corporate life of the enterprise, which potentially weakens their loyalty and sense of belonging, management should implement regular, albeit non-burdening, communication formats, such as short synchronization meetings, inclusion in relevant newsletters, recognition of the contribution of gig performers in public communications of the company, this will allow to partially compensate for the structural detachment of this category of personnel without excessive burden on management resources.

Since the security situation and economic conditions of wartime are in a state of constant dynamic change, the enterprise should regularly, at least once a quarter, review the ratio of full-time and gig personnel within the hybrid model, adjusting it according to the current level of personnel shortage, financial capabilities of the company and the specifics of current business tasks, instead of fixing this ratio as a sustainable management decision.

An effective hybrid wartime personnel model is built not around maximizing the share of gig personnel in order to save costs, as was characteristic of peacetime, but around a conscious balancing between the flexibility provided by the involvement of external performers and the stability guaranteed by a full-time core of personnel, with mandatory compliance ethical standards autonomy, humane treatment and protection against discrimination against gig workers as full participants in the joint achievement of organizational resilience of the enterprise.

Enterprise resilience is not an automatic consequence of the spread of new forms of employment as such, since digital freelance, gig employment, platform employment, remote and hybrid work constitute only an institutional and organizational resource, the potential of which is realized exclusively on the condition that the enterprise management system is able to consciously structure its advantages and risks into a single managed configuration. In other words, if an enterprise introduces flexible forms of employment without a corresponding transformation of management mechanisms, then it does not receive resilience, but only an additional level of organizational complexity, which under certain conditions can even increase its vulnerability, — in particular, when the weakening of traditional forms of control leads to the erosion of corporate identity, the complication of the coordination of distributed teams or the growth of cyber risks associated with the decentralization of work processes and the multiplicity of access points to corporate data.

Instead, resilience is formed when the enterprise, aware of the ambivalent nature of new forms of employment, develops a hybrid management model that allows simultaneously maintaining the advantages of flexible employment, such as optimizing costs by abandoning part of the permanent staff, ensuring continuity of activities in conditions of increased turnover of personnel, as well as the possibility of operational mobilization and relocation of personnel in crisis conditions, in particular martial law,

and at the same time can minimize their accompanying risks through the introduction of compensatory control mechanisms adapted communication protocols and enhanced cyber security practices. Therefore, it can be argued that it is not the very fact of the spread of flexible forms of employment, but rather the management ability of the enterprise to their balanced integration, that is, the ability to turn potentially contradictory organizational effects into a source of systemic stability, that acts as a determining factor in the formation of resilience in the conditions of modern turbulence of the business environment.

The development of the digital economy, the transformation of the nature of work and the spread of non-standard forms of employment lead to the gradual transition of enterprises from the traditional model of forming stable full-time personnel to more flexible configurations of attracting human capital, which involve the use of digital freelancing, gig and platform employment, remote and hybrid work. At the same time, the spread of these forms of employment in itself cannot be considered as an immediate prerequisite for the formation of enterprise resilience, since their impact on the organization's ability to resist, adapt and recover after internal and external shocks is ambiguous and depends on the way they are integrated into the enterprise management system.

On the one hand, the diversification of forms of employment creates additional opportunities to increase the organizational, resource and operational flexibility of the enterprise, as it allows to quickly change the composition and scale of personnel in accordance with the current needs of the business, to attract the necessary competencies without forming an excessive permanent staff, to optimize the costs of maintaining jobs and infrastructure, as well as to provide access to specialists regardless of their territorial location. Such opportunities acquire special importance in conditions of high uncertainty and crisis phenomena, in particular as a result of military operations, when the physical mobility of employees, forced displacement of the population, mobilization of part of the personnel, damage to the infrastructure or the need to quickly change the place of activity may pose threats to the continuity of the enterprise's functioning.

On the other hand, excessive or unmanaged fragmentation of labor relations can generate new sources of organizational vulnerability, including complications of control and coordination of distributed employees, asymmetry of information, reduction of the level of organizational identification and involvement of employees, risks of loss of accumulated organizational knowledge, complications of formation of a single corporate culture, dependence on digital platforms and information and communication infrastructure, as well as the growth of cyber risks associated with the use of remote channels of access to corporate data and systems. Therefore, the flexibility of employment can simultaneously act as a source of adaptability and a new factor of enterprise vulnerability, which makes it impossible to interpret any individual form of employment as an unconditional factor of resilience.

In this context, it is appropriate to consider the resilience of the enterprise not as a direct result of the spread of new forms of employment, but as a result of the management ability of the enterprise to balance their potential and the risks associated

with them, integrating various forms of attracting human capital into a single system of organizational functioning. This approach involves the formation of a hybrid management model, within which permanent, remote, hybrid, freelance, gig and platform employment are not opposed to each other, but are combined depending on the strategic importance of functions, the nature of business processes, the need to preserve critical competencies, the level of uncertainty and the need of the enterprise for rapid scaling or reduction of resources.

At the same time, permanent employment is expedient primarily for the preservation of critical competencies, organizational memory, corporate culture and strategic control, while freelance, gig and platform employment can ensure the rapid involvement of scarce or highly specialized competencies, the implementation of individual projects and the scaling of activities without a proportional increase in fixed costs. Remote and hybrid work, in turn, expands the spatial and operational mobility of the enterprise, reducing the dependence of business continuity on the physical availability of a specific office, region or individual group of employees.

Such a model becomes especially relevant in the conditions of war, when the resilience of the enterprise is largely determined by its ability to preserve critical business processes during the simultaneous occurrence of several interrelated shocks, in particular the loss or mobilization of employees, forced movement of personnel, power supply and communication interruptions, damage to material infrastructure and territorial uncertainty. In such conditions, a diversified employment model can provide a kind of «personnel reservation», in which the inaccessibility of an individual employee or a group of employees does not automatically lead to a stoppage of the critical process, if the enterprise has alternative channels for attracting the necessary competencies.

At the same time, the implementation of such potential requires the development of digital mechanisms of coordination, performance management, information security, communication and control, since the increase in spatial and contractual decentralization of personnel without the appropriate management infrastructure may not strengthen, but, on the contrary, weaken organizational stability. That is why employment hybridization should be accompanied by management hybridization, which involves combining traditional management mechanisms with digital coordination tools, project approach, results management, digital monitoring, HR analytics, cyber defense mechanisms and maintaining organizational identity.

Thus, it is advisable to consider new forms of employment not as a direct effective factor of resilience, but as a resource for the formation of the adaptive potential of the enterprise, the effectiveness of which is determined by the ability of the management system to ensure the optimal ratio between flexibility and stability, cost savings and preservation of critical competencies, employee autonomy and controllability of business processes, territorial mobility and information security. Accordingly, resilience does not arise from the maximum share of new forms of employment, but from their optimal combination integrated into the hybrid enterprise management system.

References

1. Неформальна зайнятість: фіскальні наслідки для територіальних громад (оцінка втрат і потенціалу зростання доходів). Звіт проєкту "Дослідження можливостей розширення спроможності муніципалітетів щодо мобілізації надходжень ПДФО", "U-LEAD з Європою", 2026. 44с.
2. Оцінка впливу війни на мікро-, малі та середні підприємства в Україні Київ, Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй в Україні, 2025, 68 с.
3. Куликов Г.О. Регулювання інноваційної трансформації зайнятості в умовах цифровізації економіки Ефективна економіка 2025. № 11. https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.11.142%20
4. Jing Wang, Qian Gao, Rui Zhang Gig economy and its impact on individual employment: an empirical analysis. *Humanities and Social Sciences Communications* volume 12, 1703 (2025)
5. Liang Y., Jamil R., Teng J., Chen Y. Navigating human resource management in the gig economy: a bibliometric and interpretive literature review. *Social Sciences & Humanities Open. 2026. Vol. 13. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102270*
6. Huđek, K. Sirek. Unveiling the Impact of the Gig Economy on Sustainable Development . 9th International Scientific Conference ERAZ 2023 Selected Papers. 2024. DOI: https://doi.org/10.31410/ERAZ.S.P.2023.125
7. Emil Zelma The gig economy from the freelancer's perspective: The risk of precarianization. International Journal of Contemporary Management. 2024. Vol. 60 (1). Pp. 211-226. DOI: https://doi.org/10.2478/ijcm-2024-0013 IJCM
8. Кущ О. Тіньова економіка України та її розмір. Україна кримінальна. 27 серп. 2024. URL: https://cripo. com. ua/processes/tinova-ekonomika-ukrayiny-ta-yiyi-rozmir
9. Зеркаль А.В., Павленко М.В. Теоретико-методологічні підходи до аналізу бізнес-резильєнтності в умовах турбулентності. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки». 2025. № 12 (104), Том. 1, С. 79-85. DOI: 10.25313/2520-2294-2025-12-11766
10. Решетник, Н., Решетник, О. Прийняття невизначеності як норми резильєнтності сучасних організацій. *Управління змінами та інновації*, 2026. (18), 115-119. https://doi.org/10.32782/CMI/D2026-18-19
11. Ринок праці України під час війни: перекваліфікація, бізнес та дистанційна робота. Info Sapiens. 01.07.2025. URL: https://www.sapiens.com.ua/ua/publication-single-page?id=358
12. Ткаченко І.П. Резильєнтність бізнесу України: як підтримати виробництво та інновації в умовах війни. Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету. 2024. № 2(9). С. 125-135. DOI: 10.31319/2709-2879.2024iss2(9).319091pp111-118
13. В Україні змінюють правила найму працівників: причини та тенденції. Retailers. URL: https://retailers.ua/news/menedjment/v-ukrayini-zminyuyut-pravila-naymu-pratsivnikiv-prichina

14. Геєць В. М., Бурлай Т. В., Близнюк В. В. Соціальна резильєнтність національної економіки крізь призму досвіду Європейського Союзу та України. Економічна теорія. 2023. № 3. С. 5–43. DOI: https://doi.org/10.15407/etet2023.03

1.4. Transformation of the Administration of Operational Activities in a Road Transport Enterprise in the Context of Crisis Challenges

Operational activities comprise the set of day-to-day processes that ensure the enterprise functions in accordance with the primary purpose for which it was established, and are classified as core and ancillary (other operational) activities. The core operational activities of a road haulage company are a set of interrelated processes aimed at providing road freight transport services: order acceptance and fulfilment, route planning, allocation of rolling stock and drivers, preparation of transport documentation, dispatch support, delivery monitoring and analysis of journey performance. Maintenance of the company's own vehicle fleet, as well as human resources, financial, information and documentation support, are regarded as enabling processes necessary for the continuous performance of core activities.

Other operational areas, in particular the leasing of vehicles, the repair of vehicles belonging to external customers, and the disposal of waste or surplus stock, are not the direct subject of this study. Whilst they may influence the financial stability of the enterprise, they do not determine the logic of managing the road freight transport process.

For the purposes of this study, the core operational activities of a road transport enterprise (RTE) are considered to be the provision of road freight transport services and related transport and logistics operations, provided that these form part of the contractual service.

Based on a synthesis of the results of theoretical and methodological research into the functioning of road haulage companies, we have systematised the operations characteristic of each type of operational activity and presented them in Table 1.

Table 1.

Characteristics of the types of operational activities of an enterprise specialising in road freight transport

Classification criterion for the process	Core business activities (transport and logistics services)	Other operating activities (supporting and ancillary operations)
Management of rolling stock (transport)	Provision of road freight transport services using own, hired or contracted vehicles	The temporary provision of unused vehicles for use by other business entities (without a driver).
Client relations and administrative support	Organising and carrying out transport operations in accordance with contracts with clients; freight forwarding services, preparing transport documentation, coordinating transport operators, and monitoring delivery status	Additional contractual services which do not form part of the company's core business; for example, specific services relating to the administration of transport documents or the provision of information support

		for external clients
Management of Material and Production Resources	Loading, unloading, sorting and warehousing operations, provided they form an integral part of a comprehensive transport and logistics service; arranging cargo insurance through an authorised insurance company; temporary storage of cargo in our own or contracted warehouses and terminals in accordance with the contract.	The disposal of surplus stocks of fuel, lubricants, spare parts and other tangible assets not used in core operations; the transfer or disposal of used tyres, batteries, lubricants, scrap metal and other waste generated during the operation and repair of rolling stock
Use of production infrastructure	The use of our own garages, maintenance areas, car parks, warehouses, control centres and information infrastructure to ensure the continuous and safe provision of transport services	The provision to customers of maintenance, diagnostic and repair services for vehicles, car park services or other services, provided that these do not constitute the enterprise's core area of specialisation

Source: developed by the author based on a synthesis of sources [2–6]

A detailed analysis of the structure of a road transport enterprise's operational activities suggests that the boundary between core and other operational activities is fluid and depends on the enterprise's main area of operation. The breakdown of processes shown in Table 1 indicates that the traditional transport service is currently transforming into a comprehensive logistics product. In particular, elements such as freight forwarding, documentation and cargo insurance, although classified as ancillary operations, are an integral part of ensuring the competitiveness of the core business.

At the same time, other operational activities (such as the maintenance of third-party vehicles or the sale of production waste) fulfil an important stabilising function. In the context of the economic instability caused by martial law, it is precisely these ancillary operations that provide an additional inflow of cash, partially offsetting the capital expenditure on the maintenance and depreciation of the company's own rolling stock.

According to Mashliy G. and Dzyuba T., improving the efficiency of a business's operational activities is achieved through the implementation of several key measures: establishing an effective operational management system and ensuring the involvement of qualified personnel at all levels of management; rationalising the use of financial and material resources; strengthening the enterprise's competitive position by developing and implementing an effective marketing strategy; improving the information support for operational activities; motivating staff to achieve high results; and developing and implementing operational strategies that take into account changes in the external and internal environment [5].

For transport companies operating in the face of crisis-related challenges, these areas require significant adaptation. In particular, the development of an effective management system must take into account the need for rapid adjustments to business processes in response to changes in the security situation. Resource rationalisation should be aimed not only at minimising costs, but also at creating reserves to ensure

business continuity. Marketing activities should be directed towards retaining key customers and identifying new market niches in challenging market conditions. Information support must include real-time risk monitoring systems. Staff incentives must take into account the increased workload and psychological pressure. Operational strategies must be flexible.

Expanding on this idea, Shovkun-Zablotska, L. V. and Shovkun, Z. M. note that modern operational activities must be based on the principles of resource efficiency, minimising harmful environmental impact and the active use of digital technologies. Automation and the implementation of state-of-the-art management systems make it possible to increase labour productivity, optimise costs and ensure rapid adaptation to fast-moving market changes, thereby creating an environmentally responsible business model [11].

Administration, as a clear management system based on rules and instructions, is examined by Sai L. and Poritsky Y. In our study, the subject of analysis is the operational activities of a motor transport enterprise. The authors define administration as a process whereby management influences the enterprise's operations through orders, directives, standards and job descriptions. The distinctive features of this approach include a clear division of responsibilities amongst employees and monitoring of their fulfilment, the coordination of all departments' work in accordance with uniform rules, the establishment of mandatory standards for the use of fuel, materials and funds, as well as the predominant use of written administrative methods (orders, instructions, agreements) [9].

Consequently, the administration of a road transport enterprise's operational activities constitutes a system of regulated management procedures, the delegation of authority, documentation, monitoring and analytical support for the implementation of transport and logistics processes.

Pylypenko, S., Hrudzevych, U. and Sorochak, O. identify five key areas of business operations management in the modern environment [8]:

1. Management of the process of creating and designing an operational system – the development, refinement and optimisation of the processes that will be used to produce goods or services.
2. Management of the operational system's functioning – ensuring the stable operation of all processes.
3. Management of the operational system's quality and productivity – focusing on improving the end product or service and increasing operational efficiency.
4. Management of the operational system's operational stability – minimising risks and ensuring the continuity of business processes.
5. Managing the transformation, change and development of the operating system – adapting to changes in order to maintain the business's competitiveness.

In this study, the management of a road transport enterprise's operational activities is regarded as a broader, purposeful set of management actions aimed at setting objectives, formulating strategy, planning, organising, motivating, coordinating and controlling transport and logistics processes. The outcome should be the

achievement of economic efficiency, continuity of transport operations, adequate service quality, and the company's personnel and financial stability.

At the same time, the administration of operational activities is a component of management that ensures the practical implementation of management decisions through a system of formalised procedures, rules, powers, documents, information flows, performance standards and control mechanisms. In other words, management defines the objectives and substance of changes, whilst administration establishes the procedures, responsible persons, tools, timelines and procedures for implementing these changes.

Based on the five areas of operational management set out in [8], we have transformed them into areas for the administration of the implementation of the relevant management decisions. Given the specific nature of road transport enterprises' operations in the context of staff shortages, the administration of human capital and staff retention should be added to these areas. Thus, the proposed model will encompass six interrelated areas of administration.

The effectiveness of a road transport enterprise's operations in crisis conditions is determined by the integration of these six main areas of operational administration and five interrelated principles, which have been identified on the basis of a review of academic literature [1;2;6;10]:

1. Leadership and communication – coordinated interaction between managers and subordinates, and clear links between production processes. As O.A. Shapoval demonstrates, the impact of managers' communication skills on team productivity is ensured by coordinated interaction between managers and subordinates, as well as a clear link between the components of production processes [10].

2. The process-based approach involves the clear organisation of work, the rational use of resources, cost reduction and the use of digital tools for analysis. O.O. Antoniuk argues that changes to the management system in enterprises should ensure the transparency and manageability of processes through clear rules, improve efficiency by optimising resources and reducing costs, and achieve a high degree of flexibility and compliance with international quality standards based on the implementation of digital analytical solutions [1].

3. Crisis management involves the coordination of departments, a unified information space, and the rapid communication of decisions. Orel A. emphasises the necessity of implementing crisis management strategies, as military threats and economic instability render business operations high-risk. In this context, crisis communications help to coordinate the work of departments and ensure the rapid exchange of information and management decisions [6].

4. Operational efficiency – reducing flight times and improving service quality.

5. Adaptability and flexibility – the ability to respond quickly to changes in the external environment, adjust strategic and operational decisions, and restructure business processes without significant losses in efficiency.

Let us combine these principles and areas into a single model, taking into account the specific characteristics of the transport company's operations. The principles

outlined may be applied simultaneously across several areas of administration. Therefore, Table 2 illustrates their main relationship with the corresponding areas, rather than a clear distinction between them.

Table 2

An integrated model for the administration of management decisions in the operational activities of a road transport enterprise under crisis conditions.

No.	Area of administration	Management principles	Practical implementation for an RTE
1	Administration of the creation and design of the operational system	Process approach: transparency, controllability, clear rules, digital analytical solutions. Adaptability and flexibility: scenario planning (Plans A, B, and C), diversification of logistics corridors, combination of lean-management principles with risk-oriented reservation of critical resources based on a just-in-case approach	Route planning taking security restrictions into account; dispatching based on GPS-monitoring data; design of alternative logistics corridors, including western border crossings and Danube ports; development of standard operating procedures (SOPs) for crisis situations
2	Administration of the functioning of the operational system	Leadership and communication: coordinated interaction between managers and employees, clear communication among production processes. Adaptability and flexibility: dynamic route adjustment, decentralization of authority	Real-time monitoring of trip execution; monitoring vehicle condition through telematics; management of driver work schedules; rapid response to disruptions; use of electronic consignment notes (e-CMR/e-waybills) in accordance with applicable regulatory requirements
3	Administration of the quality and productivity of the operational system	Operational optimization: reduction of operational time and improvement of service quality. Adaptability and flexibility: benchmarking against international operators and flexible inventory-management strategies	Optimization of trip execution time; reduction of fuel consumption; increase in the percentage of on-time deliveries; implementation of KPIs for drivers and dispatchers; predictive analytics based on artificial intelligence for forecasting delays; use of available tools for remote monitoring of road infrastructure
4	Administration of the stability of the operational system	Crisis management: coordination among departments, a unified information environment, rapid transmission of decisions. Adaptability and flexibility: vulnerability assessment, strategic reserves, and the ability to recover from shocks	Development of business continuity plans (BCPs); alternative routes and backup vehicles; insurance of cargo and assets; early-warning systems; creation of strategic reserves of fuel and spare parts; protection of critical infrastructure against cyberattacks
5	Administration of transformations, changes, and development of the operational system	Integration of all principles: leadership, process approach, crisis management, operational optimization, adaptability, and flexibility	Implementation of digital operations-management platforms; fleet renewal with consideration of fuel efficiency; diversification of services, including warehousing, customs clearance, and express delivery; expansion into new markets, including European

			destinations; investment in multimodal hubs; development of combined transportation
6	Administration of human capital and workforce resilience	Leadership and communication: employee support and psychological resilience. Adaptability and flexibility: flexible schedules, cross-functional training, and investment in employee development	Programs for retaining key drivers and dispatchers, including competitive remuneration and social guarantees; flexible work schedules based on the security situation; psychological support and mental-health programs; training and retraining for work with new technologies; talent pools and cross-functional employee training; performance- and loyalty-oriented motivation systems

Source: developed by the author based on [3;7]

Together, these areas and principles form a comprehensive model of adaptive administration of road transport operators' operational activities, geared towards dynamic resilience in the face of crisis challenges caused by the war in Ukraine and geopolitical, economic and political instability.

The first major challenge for road transport companies is the destruction of transport infrastructure and the resulting logistical complications. Damage to roads, bridges and logistics terminals is forcing companies to constantly seek alternative – and often longer – routes. This significantly increases delivery times and leads to additional costs for fuel and vehicle depreciation.

The second challenge is staff shortages and high staff turnover due to mobilisation. The mobilisation of drivers and technical specialists is forcing companies to constantly seek new staff. Moreover, the labour market has shifted towards two categories: young people without sufficient experience, who change jobs frequently in search of higher wages, and people of retirement age, who have considerable experience but sometimes face health-related limitations that affect flight safety.

In addition, the fuel crisis and energy instability are having a negative impact. Disruptions to fuel supplies and the destruction of oil depots are causing sharp fluctuations in the prices of fuel and lubricants. Fuel is one of the most significant items of a road haulier's operating costs.

Restrictions on the operation of seaports and maritime routes have led to a significant shift in some freight flows towards land-based routes, in particular road transport to EU countries. This has caused huge queues at border crossings and increased vehicle downtime, resulting in financial losses. Furthermore, due to the economic downturn, many businesses have cut back on production, resulting in a loss of customers and a decline in business solvency. Finally, reduced funding and restricted access to credit are preventing companies from renewing their vehicle fleets in a timely manner, as these fleets are wearing out more quickly due to the poor condition of the roads.

All the challenges mentioned above, as well as others, necessitate the adaptation of the system for administering the operational activities of road transport enterprises and

the adoption of new approaches to the implementation of key management functions. In view of this, it is proposed to refine the approaches to administration by introducing the author's concept of «innovative and analytical administration».

Innovative and analytical administration of a road transport enterprise operational activities is a system of standardised procedures for the implementation, information support and monitoring of management decisions, based on the integration of operational, telematics, financial and HR data for the early detection of deviations, risk forecasting and the timely adjustment of operational processes.

The innovative and analytical administration of a road transport operator's core operational activities is based on a unified digital system, which is an integrated set of interconnected digital systems and tools designed to consolidate information, automate operational processes, plan and coordinate transport operations, monitor journey performance, monitoring of vehicles and staff, generating reports, analysing operational indicators, identifying and forecasting deviations and risks, optimising the use of resources, ensuring information exchange between those involved in operational activities, and supporting the making of informed administrative decisions.

Such a system may comprise TMS, CRM, telematics systems, GPS monitoring, electronic document management, HRM/ERP and analytical modules. The specific set of tools is determined by the scale of the transport company's operations, the available technical infrastructure and the economic feasibility of their implementation.

The use of integrated data creates the conditions for the early detection of operational risks and the timely adjustment of routes, timetables, resource allocation and communication with customers. At the same time, the system's effectiveness depends on data quality, the identification of responsible persons, compliance with information regulations and adequate data protection.

Unlike the classical (rigid) model of administration, which focuses on strict adherence to pre-approved plans and instructions, we regard the innovative-analytical model as a dynamic process of flexible risk management. Its key characteristic is that administration takes a proactive approach.

Reactive administration involves taking corrective action after a deviation has occurred — such as a flight delay, a technical fault, fuel over-consumption or a customer complaint. Proactive administration is based on the early identification of risks, monitoring of performance indicators, scenario planning and the timely adjustment of operational procedures.

The process begins with a comprehensive audit of the road transport company's existing technical infrastructure and software solutions. Management must have a clear understanding of which GPS trackers are installed on vehicles, whether they support open interfaces for integration, which fuel sensors and on-board computers are in use, which fleet management and customer relationship management systems have been implemented, and whether they are capable of exchanging data with external systems. The outcome of this stage should be a defined blueprint for the future digital system, clearly identifying all data sources, transmission channels, the integration platform and the end users of the information.

To consolidate data from various sources, a specialised platform is required to act as the central hub of the company's unified digital system. Such a platform must support open interfaces for connecting GPS trackers from different manufacturers, fuel sensors, on-board computers and logistics systems. It will ensure that data is converted into a single format, that data is received and updated in near real time, and that access is provided to transport management systems, customer relationship management systems and analytical data.

The next step should be to set up a two-way data exchange between the transport management system and the customer communication system via this platform's interfaces. The transport management system receives data on the location of vehicles, fuel levels and the status of on-board systems, whilst the customer service system receives information on order statuses, customer communication history, agreements and payments.

Proactive administration is impossible without forecasting tools, as timely adjustments to regulated procedures require information about likely future deviations. To this end, tools are being introduced that analyse accumulated data and automatically predict future events based on identified patterns (fuel consumption for upcoming journeys, taking into account the route, load, driving style and weather conditions; technical faults before they become critical, enabling maintenance to be scheduled in advance rather than reacting to breakdowns on the road; changes in transport demand by season, customer and route, enabling fleet utilisation to be optimised in advance). The key difference between proactive and reactive administration lies in the fact that the system not only detects deviations but also, based on predefined rules or predictive models, generates recommendations and can automatically trigger specific response scenarios. Automated scenarios that are triggered under certain conditions will be implemented within the a single digital system.

To ensure a transparent and managed process for the administration of operational activities, all participants in the a single digital system must have access to unified information systems that display integrated data from all sources.The mere introduction of digital systems will not ensure proactive administration. To achieve this, it is also necessary to change administration approaches and train staff to work with the new digital system. Dispatchers must learn not simply to respond to drivers' calls, but to monitor information and anticipate problems before they arise. Managers must learn to use the customer management system not merely as a contact database, but as a tool for proactive communication with customers based on data from the transport management system. **Management** must move away from monthly reports towards daily monitoring of real-time performance indicators and making decisions based on data rather than intuition. This requires training, the development of new job descriptions and the introduction of a system of metrics that encourage proactive behaviour.

A unified digital system requires constant updating and improvement. To achieve this, it is necessary to regularly collect user feedback, check the operation of automated

processes and update machine learning models. The system must also evolve alongside the organisation. Where necessary, new vehicles, data sources, customs systems and booking services can be added to it. Particular attention must be paid to cybersecurity. To protect data, encryption and additional security measures during login must be used, the system must be regularly checked for vulnerabilities, and a recovery plan must be in place.

The introduction of a unified digital system enables a shift from reacting to problems that have already arisen to their timely detection and prevention. It helps to automate some routine tasks, consolidate information from different systems and make management decisions based on up-to-date data. Furthermore, such a system can be easily scaled up as the vehicle fleet grows or new services are introduced.

Thus, a unified digital system is not merely a technical upgrade, but also a means of improving the administration of a transport company's operational activities. It enables better work planning, the timely identification of problems and more effective management of core business processes.

The proposed model for the innovative and analytical administration of a road transport operator's operational activities should be based on the creation of a unified digital environment that integrates transport, customer, financial, human resources and telematics data. The main functional components of such an environment are the transport management system (TMS), the customer relationship management system (CRM), the enterprise resource planning system (ERP), the human resource management system (HRM), telematics and GPS systems, as well as business intelligence (BI) tools.

Based on the research carried out, we have identified opportunities for using digital systems to implement specific aspects of innovative and analytical administration of the operational activities of road transport enterprises (Table 3).

Table 3

Digital systems in the implementation of innovative and analytical administration approaches to operational activities for road transport enterprises

No.	Area of administration	Digital systems	Purpose of use
1	Administration of processes for creating and designing the operational system	TMS, BI, ERP	Transport planning, analysis of resource constraints, route modelling, and assessment of economic feasibility
2	Administration of the functioning of the operational system	TMS, telematics/GPS, electronic document management	Dispatching, vehicle monitoring, control of trip execution, and exchange of operational data
3	Administration of the quality and productivity of the operational system	TMS, CRM, BI, telematics	Monitoring KPIs, delivery timeliness, fuel consumption, customer service, and operational deviations
4	Administration of the stability of the operational system	TMS, BI, ERP, telematics	Risk monitoring, resource reserves, control of critical deviations, and support for business continuity plans
5	Administration of transformations, changes, and development of the operational	ERP, TMS, CRM, BI	Analysis of investment efficiency, assessment of new business areas, customer base, and operational scaling

	system		
6	Administration of human capital and workforce resilience	HRM, TMS, ERP, BI	Workforce planning, driver scheduling, training, personnel reserves, workload analysis, and workforce risk assessment

Source: developed by the author based on [12–18].

Consequently, the administration of a transport company's operational activities involves more than just the use of a TMS or its integration with a CRM. It is advisable to create a unified digital system in which various information systems exchange data and complement one another. This approach is in line with current trends in the development of transport and logistics, where artificial intelligence, machine learning, Big Data, the Internet of Things (IoT) and other digital technologies are used to manage transport operations [12].

A TMS provides for the planning and dispatching of transport operations, the allocation of vehicles and drivers, the monitoring of journey execution and the analysis of transport performance indicators. CRM manages orders, customer interactions and communications regarding the status of shipments. ERP consolidates financial and accounting information, as well as data on expenses, procurement, assets and the company's material resources. HRM manages HR processes, workforce planning, personnel records, training organisation and the development of a talent pool. Telematics systems and GPS provide data on vehicle location, mileage, fuel consumption, technical parameters and specific driving style characteristics. The BI system consolidates data from these sources and provides operational, comparative and predictive analytics.

The integration of a Transport Management System (TMS) and a Customer Relationship Management (CRM) system creates a unified information environment that helps to improve the efficiency of the administration of a road transport company's operational activities. Such integration ensures a continuous exchange of data between the operational and customer-facing departments, reduces information gaps and facilitates the automation of key business processes. The automatic generation of orders in the TMS based on CRM data implements a process-oriented approach, ensuring transparency and manageability of operational processes. When a manager concludes a deal in the CRM, the order details can be automatically transferred to the TMS, where a task for the journey is generated. This eliminates the need for data re-entry, reduces the risk of errors and shortens the time between the conclusion of the deal and the start of service delivery. In terms of managing the processes involved in creating and designing an operational system, this signifies a shift from fragmented manual procedures to a comprehensive automated cycle.

Tracking delivery status in the CRM ensures coordinated interaction between managers, staff and customers. The account manager is able to view up-to-date information on the location of the consignment within the CRM without having to contact the dispatcher or use the TMS. This improves the speed of communication with the customer and facilitates the timely provision of information regarding the progress

of the shipment. For the administration of the operational system, this means creating a unified information environment in which all parties involved use consistent data.

Automatic customer notifications help to implement the principle of crisis management by ensuring the prompt transmission of information to interested parties. The TMS can send delivery status data to the CRM—for example, 'cargo en route', 'arrived at the warehouse', 'delivered'—whereupon the CRM automatically sends the customer a corresponding SMS or email. This reduces the workload on managers, minimises the risk of errors in communication and ensures customers are kept informed in a timely manner. In terms of administration the quality and performance of the operational system, this creates the conditions for greater transparency in communication and a reduction in the number of enquiries regarding the status of shipments.

Analysing customer profitability enables a data-driven approach to the administration of operational activities, combining operational optimisation with strategic customer base management. Integrating trip cost data from the TMS – specifically fuel costs, driver wages, depreciation and tolls – with customer revenue data from the CRM, including service charges and additional services, enables the profitability of individual customers and trips to be assessed. This creates an information foundation for making informed decisions regarding pricing, prioritising customer engagement and optimising routes. For the administration of transformations, changes and the development of the operational system, this means strengthening the analytical component of profitability management.

A rapid response to issues ensures greater adaptability and flexibility of the operational system. If the TMS detects a journey delay, for example due to an air traffic alert, a traffic jam or a technical fault with a vehicle, the system can automatically generate a task in the CRM for the responsible manager to inform the customer and find an alternative solution. This approach facilitates the transition from reactive to proactive management of operational deviations. In terms of ensuring the stability of the operational system, this means improving the speed of response to factors that may disrupt the planned course of transport operations [14].

An important component of such a system is the ERP, which contains data on transport costs, procurement, labour costs and the use of materials. Integrating ERP with TMS makes it possible to link financial indicators to specific journeys and assess their actual cost. HRM and TMS can be used for personnel management. They provide information on the work of drivers and other staff, which helps with planning schedules, monitoring workloads and ensuring compliance with working and rest periods.

Telematics systems and GPS provide data on vehicle location, mileage, fuel consumption and other performance indicators. Integrating this data with TMS and ERP makes it possible to compare planned and actual trip results. Integration with HRM also helps to take drivers' workloads into account when planning transport operations.

All the data collected can be consolidated within a BI system. This enables the analysis of information from TMS, CRM, ERP, HRM and telematics systems, and its use in management decision-making [13]. Based on this data, it is possible to monitor key performance indicators, identify deviations, analyse transport results and forecast potential changes.

Thus, TMS and CRM should be regarded as key components ensuring the interaction between the operational and customer-facing spheres within the framework of a broader, unified digital system. At the same time, ERP, HRM, telematics systems and BI ensure, respectively, the financial and resource, human resources, technological and analytical integrity of the information environment.

Consequently, the digital system for managing the operational activities of a road transport enterprise should be viewed as a multi-level system in which TMS manages transport processes, CRM manages the customer-facing side, ERP manages the financial and resource side, HRM manages the human resources side, telematics systems collect primary operational data, and BI handles the consolidation and analytical processing of information. The integration of TMS and CRM is of particular importance for the direct coordination of the operational and customer cycles; however, it is not a self-sufficient model of digital administration. The interaction of all these components creates a unified information environment necessary for proactive monitoring, analysis of deviations, risk forecasting and informed adjustment of operational processes.

The digitalisation of administrative processes can help resolve many of the issues that arise in the operational activities of a road transport enterprise (RTE), namely:

1. To improve quality control of operations and processes (increasing accuracy, response times and customer confidence, whilst reducing discrepancies) associated with the RTE's operational activities, through:

a) monitoring operational processes using quality management systems (QMS, ERP, CRM), which ensure real-time control of every stage of operations – from order receipt to delivery;

b) the use of IoT sensors – these track the technical condition of vehicles, temperature, humidity, speed and so on, enabling the prompt monitoring of transport parameters and the timely detection of deviations;

c) the use of artificial intelligence – AI algorithms analyse deviations from standards, predict risks of substandard operations and propose optimal solutions;

2. To improve human resources management, which will result in increased labour productivity and reduced staff turnover, through the implementation of:

a) innovative HRM systems that automate personnel records, payroll processing, working time planning and productivity monitoring;

b) the development of a KPI system and dashboards that enable the performance of each employee to be tracked; c) the introduction of safety monitoring systems – telematics systems that analyse driving behaviour and identify hazardous actions, thereby enhancing safety and discipline;

d) improving digital motivational tools – gamification systems (rewards, rankings, performance points) that help boost staff motivation.

3. Improve analytical support for management decision-making through:

a) developing a BI system – via interactive dashboards that enable management to analyse the profitability of routes, customers and vehicles;

b) expanding the use of predictive analytics – AI algorithms forecast demand, fuel consumption and vehicle breakdowns, enabling proactive decision-making.

4. Ensure that services comply with sustainable development standards by:

a) monitoring emissions and fuel consumption – telematics systems that measure fuel consumption and record instances where limits are exceeded;

b) planning environmentally efficient routes – specialised algorithms optimise routes to minimise mileage and load, thereby reducing harmful emissions;

c) generating ESG reports – digital platforms automatically generate environmental reports to monitor the company's impact on the environment, which is of vital importance in international transport operations.

Overall, digitalisation serves as a tool for implementing the proposed system of innovative and analytical administration and ensures the achievement of the expected outcomes of the transformation of the administrative system, which can be grouped into four interrelated areas: financial and operational, technological, human resources and environmental. Accordingly, each of these areas involves a set of specific management measures aimed at improving the efficiency of operational activities, ensuring the rational use of resources, maintaining human resource capacity and reducing the negative impact of the enterprise's activities on the environment.

The first block—financial and operational—is aimed at maintaining the company's profitability under martial law, when attracting significant external investment and rapidly expanding the vehicle fleet may be difficult. It is therefore advisable to focus primarily on improving the efficiency of the existing fleet, increasing revenue per vehicle and systematically reducing operating costs. The implementation of this component involves the following key areas:

a) increasing the fleet's load factor. This involves systematic planning of return and backhaul loads, the consolidation of compatible small consignments, and the selection of the appropriate type of vehicle or semi-trailer in accordance with the order specifications;

b) minimising unproductive downtime and losses in the logistics chain. It is advisable to establish time limits for loading and unloading operations, monitor the causes of downtime, and plan safe routes taking into account the condition of the infrastructure, traffic restrictions and possible alternative routes;

c) a fuel audit and monitoring of energy costs. As fuel and lubricants are among the most significant components of the cost of freight transport, it is advisable to implement procurement planning, establish an acceptable fuel reserve in accordance with safety requirements, and utilise telematics data to monitor specific consumption, driving style and identify atypical deviations;

d) maintaining transport workforce capacity. This involves the use of flexible working schedules for drivers whilst complying with established working and rest periods, reducing the unproductive administrative burden on logistics staff and

dispatchers, and offering incentives for safe driving, maintaining vehicles in good technical condition and ensuring high-quality journey performance.

The implementation of these measures requires adequate information support, as the efficient use of the vehicle fleet, cost control, downtime management and transport performance are directly dependent on the timeliness and reliability of management information. For this reason, the next component of the proposed system is the technological module, which provides the digital and analytical foundation for the implementation of financial and operational decisions.

The second, technological, module provides information and analytical support for administrative procedures. It involves the phased integration of TMS, CRM, telematics, electronic document management and analytical tools into a single data processing loop. This approach makes it possible to reduce duplication of information, improve the timeliness of its transmission, monitor the execution of journeys and compare planned and actual cost figures.

An important aspect of technological support is the automated generation of route plans, taking into account the security situation, the condition of the infrastructure, traffic restrictions and border delays, which can reduce the risk of errors in planning. Post-journey analysis of actual costs, journey duration, downtime, route deviations and order fulfilment rates provides the information basis for adjusting fares, routes and internal regulations. Expanding GPS monitoring functions through integration with logistics and HR modules makes it possible to optimise trip allocation, plan staff workloads and monitor compliance with established work and rest schedules.

At the same time, the effective use of digital technologies depends to a large extent on the staff responsible for planning, monitoring and carrying out operations. Therefore, technological changes must be accompanied by appropriate measures to retain, develop and motivate staff, which forms the basis of the following section on human resources.

The third section, on human resources, is aimed at retaining and developing staff on whom the safety, punctuality and quality of transport services directly depend. It includes recruiting and retaining drivers, mechanics, dispatchers and freight forwarders; enhancing their skills; building a talent pool; mentoring new staff; and fostering a corporate culture and psychological resilience amongst staff.

An important component of HR administration is the development of an incentive scheme, which should be based on transparent performance indicators linked to telematics and operational data. Such indicators may include compliance with safe and economical driving standards, the punctuality of journeys, the proper completion of documentation, the absence of confirmed breaches attributable to the employee, technical discipline and the quality of interaction with the dispatch service. At the same time, performance indicators must be applied subject to unconditional compliance with safety requirements, legal regulations and working and rest schedules.

Particular attention should be paid to the continuous training of staff, which may be organised in the form of face-to-face and distance learning courses on road safety, economical driving, working with digital systems, new routes and customer service

standards. Training outcomes may be taken into account in career progression, the development of a talent pool and the provision of non-monetary incentives.

Alongside ensuring financial, technological and human resources stability, an important objective of the transformation of administration is the rational use of resources and the reduction of the negative impact of transport operations on the environment. For a road transport enterprise, this area is directly linked to controlling fuel consumption, optimising routes, maintaining the technical condition of the vehicle fleet and reducing empty runs. This necessitates the identification of the environmental module as a separate component of the proposed system.

The fourth, environmental, module is aimed at reducing the negative impact of core operational activities on the environment and ensuring the rational use of resources. It covers the monitoring of specific fuel consumption, the technical condition of vehicles, route optimisation, the reduction of empty runs, the recording of emissions, and the proper management of waste generated as a result of the operation and maintenance of the vehicle fleet.

It is advisable to incorporate environmental administration into a company's performance indicator system. Such indicators may include fuel consumption per 100 km travelled or per tonne-kilometre, the proportion of empty journeys, the technical condition of vehicles, the volume of waste sent for recycling, and, where the necessary data is available, the volume of CO_2 emissions. The use of these indicators makes it possible to simultaneously control costs, reduce the negative impact on the environment and facilitate the company's operations within the EU market.

Consequently, the proposed system for transforming the administration of a road transport operator's core operational activities involves an interlinked combination of financial, operational, technological, human resources and environmental measures. Their implementation must be supported by appropriate administrative mechanisms, in particular regulations, the allocation of responsibilities, digital information support, a performance monitoring system and the continuous refinement of operational procedures. This approach makes it possible to link the organisation's strategic objectives to specific management actions and to create a comprehensive system of innovative and analytical administration of core operational activities.

References

1. Antoniuk, O. O. (2025). Modern aspects of business process management. In *Innovative Development of Economics, Management, Finance and Law under Global Changes: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (Kropyvnytskyi, June 28, 2025) (p. 68). Kropyvnytskyi: CFEND. Available at: https://da.ecoukraine.org/wp-content/themes/ecoukraine/assets/ourdoc/Vorobiov-Mhuriro-th-1.pdf#page=21 (accessed September 26, 2026).

2. Biliavskyi, V. M. (2013). Formation of operational structures and ensuring their effective functioning. *Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*, 1(56), 113–119.

3. Law of Ukraine "On Accounting and Financial Reporting in Ukraine" of July 16, 1999, No. 996-XIV. (1999). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, No. 40, Art. 365.

Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14 (accessed September 26, 2026).

4. Kramarchuk, S. P., & Lubkei, N. P. (2020). The essence of operations management and the main stages of its development. *Market Infrastructure*, 44, 83–86.

5. Mashlii, H., & Dziuba, T. (2022). An enterprise's operational activities as a component of its market activities.. *Formation of a Mechanism for Strengthening the Competitive Positions of National Economic Systems in Global, Regional and Local Dimensions: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference* (pp. 18–20). Ternopil: FOP Palianytsia V. A. Available at: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39308/2/FMNESCPS_2022_Dziuba_T-Operational_activities_of_18-20.pdf (accessed September 26, 2026).

6. Orel, A., Molodets, S., & Havryliuk, I. (2025). Crisis communications as a tool of operational management of organizations. *Economy and Society*, 73. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-73-72.

7. Ministry of Finance of Ukraine. (2013). *On Approval of National Accounting Regulation (Standard) 1 "General Requirements for Financial Reporting"*: Order No. 73 of February 7, 2013. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0336-13 (accessed September 26, 2026).

8. Pylypenko, S., Hrudzevych, U., & Sorochak, O. (2025). Efficiency of enterprise operations management. *Sustainable Development of the Economy*, 1(52), 109–115.

9. Sai, L., & Poritskyi, Y. (2024). Administration of enterprise intellectual capital. *Ukrainian Economic Journal*, 6, 128–131. https://doi.org/10.32782/2786-8273/2024-6-21.

10. Shapoval, O. A. (2025). Communication skills and leadership qualities in the organizational behavior of an operations manager as a means of improving the effectiveness of the human resource management system. *Investytsii: Praktyka ta Dosvid*, 8.

11. Shovkun-Zablotska, L. V., & Shovkun, Z. M. (2025). Transformation of the operational activities of agricultural enterprises in the digital economy: Challenges and management guidelines. In *Sustainable Development of the Agricultural Sector: Engineering and Economic Support: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference of the Berezhany Agrotechnical Institute, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine* (pp. 59–61). Zaporizhzhia: FOP Odnoroh T. V.

12. Chung S.-H. Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2021. Vol. 153. Art. 102455. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102455.

13. Phillips-Wren G., Daly M., Burstein F. Reconciling Business Intelligence, analytics and decision support systems: More data, deeper insight. Decision Support Systems. 2021. Vol. 146. Art. 113560. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113560.

14. Tsolaki K., Vafeiadis T., Nizamis A., Ioannidis D., Tzovaras D. Utilizing Machine Learning on Freight Transportation and Logistics Applications: A review. ICT Express. 2023. Vol. 9, No. 3. P. 284–295. DOI: https://doi.org/10.1016/j.icte.2022.02.001.

15. Cargoson. Top 17 Transport Management Software (TMS) in 2026. 2025. URL: https://www.cargoson.com/en/blog/top-transport-management-software-tms-providers (дата звернення: 20.09.2026).

16. Guideflow. 8 best transportation management software for 2026. 2026. URL: https://www.guideflow.com/blog/transportation-management-software (дата звернення: 20.09.2026).

17. Locus. Top 10 Transportation Management Systems (2026). 2026. URL: https://locus.sh/blogs/best-transportation-management-software/ (дата звернення: 20.09.2026).

18. Mobility Infotech. 7 Best Transportation Management Platforms 2026. 2026. URL: https://www.mobilityinfotech.com/blog/7-best-transportation-management-software-solutions (дата звернення: 21.09.2026).

1.5. The History of World Tourism Development in the Context of Local History and Tourism Activities in Educational Institutions

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ СВІТОВОГО ТУРИЗМУ В КОНТЕКСТІ КРАЄЗНАВЧО-ТУРИСТИЧНОЇ РОБОТИ В ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ

Туризм є складним соціокультурним явищем, розвиток якого відображає зміни у способах життя, просторовій мобільності, господарській діяльності, культурній комунікації та пізнавальних потребах людини. Історія туризму охоплює тривалий шлях від подорожей, зумовлених торгівлею, релігійними мотивами, воєнними чи дипломатичними потребами, до організованої туристичної індустрії, що забезпечує рекреацію, пізнання, оздоровлення, освіту, професійні контакти й активний відпочинок. Її вивчення дає змогу простежити, як розвиток транспорту, картографії, гостинності, інформаційних технологій та соціального законодавства поступово перетворив подорож на масову суспільну практику [16, с. 18].

Історичний розвиток туризму не можна зводити лише до хронологічного переліку мандрівок або технічних нововведень. Він пов’язаний зі становленням географічних знань, формуванням уявлень про інші народи й території, поширенням освіти, зміною ставлення суспільства до дозвілля та культурної спадщини. У контексті сучасної педагогіки історія туризму є змістовим ресурсом для інтеграції географічних, історичних, культурологічних, економічних і природничих знань, а також для розвитку дослідницьких умінь здобувачів освіти [14, с. 8].

Найдавніші переміщення людей були зумовлені пошуком їжі, зміною природних умов, освоєнням територій, торгівлею, військовими діями та потребою у встановленні зв’язків між поселеннями. У цивілізаціях Стародавнього Сходу подорожували купці, дипломати, жерці, воїни та державні службовці. Розвиток торгівлі сприяв формуванню сухопутних і водних шляхів, появі переправ, місць відпочинку й елементарних систем орієнтування. У Стародавній Греції поширювалися поїздки до святинь, лікувальних місцевостей і центрів освіти, а Олімпійські ігри стимулювали переміщення великої кількості учасників і глядачів. У Римській імперії подорожам сприяла мережа доріг, поштових станцій, заїжджих дворів і термальних курортів [12, с. 48].

Давні подорожі ще не були туризмом у сучасному розумінні, оскільки не утворювали самостійної індустрії та залишалися доступними обмеженим суспільним групам. Проте вони заклали основи транспортних комунікацій, традицій гостинності, географічного опису територій і міжкультурного обміну. У краєзнавчо-туристичній роботі закладів освіти цей матеріал може використовуватися для дослідження історичних шляхів, археологічних пам'яток, давніх поселень, торговельних центрів і локальних традицій гостинності [6, с. 42].

У Середньовіччі основними формами просторової мобільності були паломництво, торгівля, військові походи, дипломатичні місії та навчальні подорожі. Паломницькі маршрути об'єднували різні регіони Європи, Азії та Близького Сходу; уздовж них виникали притулки, лікарні, ринки й місця тимчасового проживання. Розвиток університетів сприяв академічній мобільності: викладачі та студенти переміщувалися між освітніми центрами, обмінювалися знаннями, рукописами й науковими ідеями. Такі переміщення стали передумовою сучасного освітнього й наукового туризму.

Доба Великих географічних відкриттів розширила просторові уявлення європейців, прискорила розвиток мореплавства, картографії та природничих досліджень. Водночас вона супроводжувалася колонізацією, насильницьким підкоренням народів, економічною експлуатацією й руйнуванням традиційних культур. Тому в краєзнавчих дослідженнях цей період доцільно розглядати критично, показуючи поряд із географічними здобутками соціальні та гуманітарні наслідки колоніальної політики [12, с. 149].

У XVI–XVIII століттях серед представників європейської аристократії поширилася практика тривалих освітніх подорожей Grand Tour. Молоді люди відвідували культурні центри Франції, Італії, Німеччини, Швейцарії та інших країн, знайомилися з мистецтвом, архітектурою, античними пам'ятками, політичним устроєм і нормами світського життя. Ця практика стала важливим етапом формування пізнавального й культурного туризму. Туристичне країнознавство дає змогу розглядати такі подорожі у зв'язку з природними, культурними й соціально-економічними особливостями окремих держав і регіонів [15, с. 27].

XIX століття стало переломним періодом в історії туризму. Промислова революція, розвиток залізничного та пароплавного транспорту, урбанізація, зростання доходів частини населення й поширення друкованої інформації створили передумови для організованих подорожей. Залізничне сполучення скоротило тривалість поїздок, зробило пересування регулярнішим і доступнішим. З'явилися вокзали, розклади руху, квитки, багажні служби, місця харчування й тимчасового проживання [16, с. 112].

У цей період сформувалося туристичне посередництво: підприємства почали об'єднувати перевезення, розміщення, харчування, екскурсійне обслуговування та супровід у комплексний туристичний продукт. Одночасно розвивалися курортна справа, бальнеологія, гірський туризм, морський відпочинок і відвідування культурних центрів. Виникали клуби мандрівників,

альпіністські товариства, природоохоронні та краєзнавчі організації, які укладали маршрути, маркували стежки, створювали карти й популяризували подорожі [12, с. 190].

Поширення туристичної діяльності сприяло появі путівників, у яких систематизувалися відомості про транспорт, готелі, музеї, пам'ятки, правила поведінки та рекомендовані маршрути. Путівник став не лише практичним засобом орієнтування, а й інструментом формування туристичного образу території. У краєзнавчо-туристичній роботі історію організованого туризму доцільно вивчати через аналіз старих карт, путівників, фотографій, історії вокзалів, готелів, курортів і туристичних товариств [9, с. 119].

Таблиця 1.

Основні етапи розвитку світового туризму

Етап	Хронологічні межі	Характеристика	Мотиви подорожей	Провідні види
Давні подорожі	до V ст. н. е.	Торговельні шляхи, релігійні подорожі, дипломатичні місії	торгівля, релігія, лікування	паломницький, торговельний, лікувальний
Середньовіччя та ранній Новий час	V–XVIII ст.	Паломництво, університетська мобільність, географічні відкриття	релігія, освіта, наука, торгівля	релігійний, освітній, науковий
Організований туризм	XIX ст.	Транспортний прогрес, агентства, путівники, курорти	відпочинок, лікування, пізнання	курортний, екскурсійний, гірський
Масовий туризм	XX ст.	Авіація, автомобільний транспорт, пакетні тури	відпочинок, оздоровлення, спорт	масовий, спортивний, діловий
Сучасний туризм	XXI ст.	Цифровізація, онлайн-сервіси, сталий розвиток	пізнання, досвід, самореалізація	екологічний, культурний, подієвий, цифровий

У XX столітті туризм перетворився на масове суспільне явище. Цьому сприяли законодавче закріплення оплачуваних відпусток, зростання добробуту населення, розвиток автомобільного транспорту, цивільної авіації, готельної інфраструктури, засобів зв'язку та туристичної реклами. Після Другої світової війни пакетні тури, чартерні перевезення й стандартизоване обслуговування зробили закордонні подорожі доступними для ширших верств населення [16, с. 168].

Паралельно формувалися спеціалізовані види туризму: спортивний, молодіжний, освітній, оздоровчий, діловий, сільський, екологічний, подієвий і музейний. Важливу роль у розвитку спортивного туризму відігравали самодіяльні

туристичні організації, які залучали населення до активних форм відпочинку, формували туристичні навички та розвивали громадський туристичний рух [2,]. Інституційний розвиток туризму значною мірою залежав від нормативно-правової бази, державного регулювання й узгодженості основних понять туристичного законодавства [1].

Молодіжний і спортивний туризм сприяв формуванню навичок самоорганізації, відповідальності, взаємодопомоги, орієнтування на місцевості й дотримання правил безпеки. Освітні подорожі використовувалися для вивчення історії, географії, природи, культури та господарства. Разом із позитивними наслідками масовий туризм створив екологічні й соціокультурні проблеми: деградацію природних комплексів, перевантаження інфраструктури, комерціалізацію культурної спадщини. Усвідомлення цих наслідків сприяло поширенню ідей сталого й відповідального туризму [12, с. 245].

На початку XXI століття туристична сфера зазнала суттєвих змін під впливом цифровізації, глобалізації, мобільних технологій, бюджетних перевезень та електронних систем бронювання. Фотографії, відео, електронні карти, віртуальні екскурсії й відгуки користувачів беруть участь у формуванні туристичного образу місця. Водночас посилився інтерес до індивідуальних маршрутів, локальних культур, гастрономічних традицій, ремесел, нематеріальної спадщини та повсякденного життя громад, що підвищує роль краєзнавчо-туристичної роботи в освіті [9, с. 170].

Сучасний туризм дедалі тісніше пов’язується з принципами сталого розвитку: збереженням природної та культурної спадщини, повагою до місцевих громад, підтримкою локальної економіки та відповідальним використанням ресурсів. Для освіти це означає необхідність формувати не лише знання про туристичні ресурси, а й культуру відповідального відвідування, критичне ставлення до інформації та готовність оцінювати наслідки туристичної діяльності [5, с. 32].



Рис. 1. Пішохідний туризм у Карпатах, Україна

Джерело: Henadz Besarab. Siarhei Besarab Carpathians Ukraine June 2012.jpg. Wikimedia Commons. Ліцензія CC BY-SA 4.0.

Краєзнавчо-туристична робота є системою пізнавальної, дослідницької, рухової, комунікативної та суспільно корисної діяльності. Її предметом є конкретна територія, яка вивчається через безпосереднє спостереження, аналіз джерел, проходження маршрутів, спілкування з місцевими мешканцями та фіксацію результатів. Така робота в освіті поєднує географічний, історичний, етнографічний, культурологічний, економічний і природничий напрями [13].

Освітнє краєзнавство сприяє формуванню історичної пам'яті, громадянської ідентичності та критичного мислення. В умовах інформаційного протистояння воно набуває особливого значення як засіб відповідального ставлення до джерел, перевірки фактів і протидії маніпуляціям [4].

Краєзнавчо-туристична робота в закладах освіти включає навчальні екскурсії, походи, експедиції, музейну й архівну роботу, проєктування маршрутів, створення карт, путівників і віртуальних екскурсій. Важливо розмежовувати туристичну поїздку як форму дозвілля та навчальну краєзнавчо-туристичну роботу. Остання передбачає чітко визначену освітню мету, попередню підготовку, розподіл завдань, дотримання правил безпеки, фіксацію спостережень і підбиття підсумків. Її результатом має бути не лише емоційне враження, а й створений учнями продукт: маршрут, карта, опис, фотозвіт, відео, виставка, електронний путівник або дослідницька робота [8].



Рис. 2. Структурна схема краєзнавчо-туристичної роботи в закладах освіти
Джерело: розроблено автором[6].

Історія світового туризму забезпечує широкі можливості для реалізації міжпредметних зв'язків. Вона поєднує зміст географії, історії, громадянської освіти, економіки, літератури, мистецтва, інформатики та фізичної культури. На уроках географії зібраний туристичний матеріал допомагає розкрити закономірності освоєння простору, формування транспортних мереж, розвиток

туристичних регіонів і територіальну організацію господарства. На уроках історії він може використовуватися для аналізу паломництва, торгівлі, дипломатичних місій, географічних відкриттів, курортної справи й міжнародних контактів.

Інтеграція інформації про розвиток туризму сприяє поглибленню знань учнів, формуванню цілісного бачення просторових явищ і застосуванню матеріалу у практичній діяльності. Ефективними способами використання історії туризму є укладання хронологічних таблиць, порівняння світового та локального досвіду, дослідження біографій мандрівників, реконструкція історичних маршрутів, аналіз старих путівників і створення туристичних карт [11, с. 1].

Навчальна екскурсія є однією з найпоширеніших форм краєзнавчо-туристичної роботи. Вона передбачає визначення мети, добір об'єктів, розроблення маршруту, підготовку завдань, проведення спостережень і підбиття підсумків. Туристичний похід поєднує пізнавальні завдання з фізичною активністю, а краєзнавча експедиція має виразніший дослідницький характер і включає спостереження, опитування, інтерв'ювання, фотографування, роботу з документами й картами [8, с. 54].

Проєктування туристичного маршруту інтегрує географічні, історичні, математичні, мовні та цифрові компетентності. Здобувачі освіти добирають об'єкти, визначають цільову аудиторію, розраховують відстані, готують інформаційні матеріали й оцінюють безпечність та доступність маршруту. Віртуальні екскурсії не замінюють безпосереднього пізнання території, проте розширюють доступ до віддалених, зруйнованих або тимчасово недоступних об'єктів [14, с. 85].

Таблиця 2.

Форми краєзнавчо-туристичної роботи та очікувані освітні результати

Форма роботи	Основні дії здобувачів освіти	Освітній продукт	Компетентнісний результат
Екскурсія	спостереження, нотування, фотофіксація	звіт, презентація, фотонарис	пізнавальна й комунікативна компетентності
Похід	орієнтування, командна взаємодія, польові спостереження	щоденник маршруту, карта	самоорганізація, безпека, витривалість
Експедиція	пошук джерел, інтерв'ювання, опис об'єктів	каталог, дослідницька робота	дослідницька й інформаційна компетентності
Проєкт маршруту	добір об'єктів, розрахунки, картографування	путівник, цифрова карта	проєктна, цифрова, підприємницька компетентності
Віртуальна екскурсія	робота з медіа, сценарування, озвучення	відео, вебсторінка, інтерактивна карта	цифрова грамотність і медіатворчість

Краєзнавчо-туристична діяльність сприяє формуванню ключових і предметних компетентностей. Під час підготовки маршруту учні працюють із джерелами, картами, статистичними даними, виконують розрахунки,

розподіляють обов'язки й створюють спільний продукт. Особливе значення має розвиток просторового мислення: здобувачі освіти вчаться визначати взаємне розташування об'єктів, читати карти, встановлювати відстані, аналізувати рельєф і планувати маршрут [6, с. 156].

Краєзнавство сприяє формуванню громадянської та культурної компетентностей. Безпосереднє знайомство з історією громади допомагає усвідомити цінність спадщини й особисту відповідальність за її збереження. Краєзнавчо-туристична робота розвиває командну взаємодію, взаємодопомогу, самостійність і відповідальне прийняття рішень. Для дітей з особливими освітніми потребами вона може виконувати соціалізаційну й адаптаційну функції [10, с. 16].



Рис. 3. Кам'янець-Подільська фортеця як об'єкт краєзнавчої екскурсії
Джерело: Håkan Henriksson. Kamianets-Podilskyi-Castle-2007.jpg. Wikimedia Commons. Ліцензія CC BY 3.0.



Рис. 4. Освітній потенціал основних видів туризму

Безпека є обов'язковою умовою організації будь-якого туристичного заходу. Педагог має оцінити складність маршруту, погодні умови, транспортну

доступність, фізичну підготовленість учасників, наявність медичних обмежень і засобів зв'язку. Перед походом або екскурсією проводиться інструктаж, визначаються правила руху, місця збору й порядок дій у разі погіршення погоди, травмування чи втрати зв'язку [14, с. 50].

Етичний складник передбачає повагу до місцевого населення, культурних і релігійних традицій, меморіальних об'єктів, приватної власності та природного середовища. Освітні подорожі мають сприяти збереженню спадщини, а не її комерціалізації або пошкодженню. Важливо також ураховувати принцип доступності: під час проєктування маршруту слід брати до уваги потреби учасників з інвалідністю та особливими освітніми потребами [10, с. 16].

Ефективне використання історико-туристичного матеріалу передбачає послідовність мотиваційного, інформаційно-аналітичного, польового, проєктно-творчого та рефлексивного етапів. Спочатку педагог пропонує проблемне питання, карту, фотографію або уривок із путівника; далі учні вивчають джерела, порівнюють інформацію, проводять польові спостереження й перетворюють зібраний матеріал на карту, маршрут, путівник, відео чи музейну експозицію.

Розгляд історії світового туризму доцільно будувати не як механічне відтворення дат і прізвищ, а як аналіз поступової зміни функцій подорожі. На ранніх етапах вона була переважно засобом виживання, торгівлі, військової або релігійної діяльності; згодом набула освітньої, оздоровчої, культурної та рекреаційної спрямованості. Таке бачення дає змогу простежити, як розвиток суспільства, техніки, комунікацій і політичних інститутів змінював мотивацію мандрівника. Для здобувачів освіти це важливо ще й тому, що історичні форми мобільності можна співвіднести із сучасними практиками: паломницькі шляхи – з релігійним туризмом, освітні подорожі – з академічною мобільністю, ярмаркові маршрути – з діловими й подієвими поїздками, лікувальні місцевості – з оздоровчим туризмом. Завдяки такому зіставленню історичний матеріал набуває практичного змісту та сприяє розумінню наступності суспільних явищ [16, с. 206].

Важливим методичним принципом є поєднання глобальної історії туризму з історією конкретного краю. Світові процеси стають зрозумілішими, коли вони розкриваються через локальні приклади: появу поштових трактів, залізничних станцій, курортів, музеїв, готелів, ярмарків, туристичних баз, екскурсійних маршрутів. Таке поєднання дозволяє учням побачити, що місцевість не існувала ізольовано, а була включена до ширших торговельних, культурних й транспортних мереж. Під час дослідження можна встановлювати, які подорожні відвідували регіон, як змінювалося його транспортне положення, які пам'ятки ставали об'єктами зацікавлення, як формувався туристичний образ території. Робота з локальним матеріалом забезпечує емоційну залученість, оскільки стосується знайомого простору, родинної пам'яті та повсякденного досвіду здобувачів освіти [6, с. 91].

Особливу цінність має робота з першоджерелами. До них можуть належати щоденники мандрівників, листи, старі путівники, карти, поштові листівки, фотографії, рекламні буклети, квитки, музейні каталоги, газетні повідомлення й

усні свідчення. Порівняння різних типів джерел вчить відокремлювати факт від оцінки, розуміти позицію автора, виявляти часові нашарування та перевіряти достовірність інформації. Наприклад, опис міста в путівнику початку XX століття можна зіставити із сучасною картою й фотографіями, визначивши збережені, перебудовані або втрачені об'єкти. Учні можуть дослідити, які місця автор путівника вважав привабливими, які групи населення залишалися поза увагою, якою була мова туристичної реклами. Така діяльність одночасно формує образне мислення, інформаційну грамотність і навички інтерпретації культурної спадщини.

Картографічна складова краєзнавчо-туристичної роботи дає можливість відтворювати просторову логіку історичних подорожей. На основі старих і сучасних карт можна реконструювати торговельні, паломницькі, поштові, військові та екскурсійні шляхи, визначати природні перешкоди, місця переправ, зупинок і ночівлі. Доцільно пропонувати учням створення багатошарової карти, де окремими позначеннями відображаються різні історичні періоди, види транспорту та об'єкти інфраструктури. Порівняння шарів показує як зміна доріг, кордонів або транспортних вузлів впливала на розвиток поселень. У цифровому середовищі така карта може містити фотографії, аудіозаписи, короткі довідки, фрагменти спогадів і посилання на музейні колекції. У результаті карта перетворюється з ілюстрації на самостійний дослідницький продукт [8].

Організація польової роботи потребує чіткої послідовності. Спочатку визначається проблема, що має бути досліджена, а не лише перелік об'єктів для огляду. Далі формується маршрут, розподіляються ролі, готуються картки спостережень, питання для інтерв'ю, засоби фотофіксації та резервний план. Під час виходу кожна група виконує окреме завдання: описує архітектурний об'єкт, фіксує стан довкілля, визначає доступність території, записує усні свідчення або проводить підрахунок туристичних потоків. Після повернення матеріали систематизуються, перевіряються та презентуються. Така організація запобігає перетворенню екскурсії на пасивне слухання й забезпечує активну участь усіх здобувачів освіти. Важливо, щоб підсумковий продукт був адресований реальній аудиторії – вчителям і учням, музею, бібліотеці, туристичному центру або мешканцям громади.

Педагогічна цінність екскурсії значною мірою визначається якістю запитань. Репродуктивні запитання допомагають зафіксувати основні відомості, проте дослідницький характер виникає тоді, коли учні пояснюють причинно-наслідкові зв'язки, порівнюють джерела, оцінюють зміни та пропонують власні інтерпретації. Доцільно ставити питання: чому туристичний об'єкт виник саме в цьому місці; як його функція змінювалася; які групи населення ним користувалися; що вплинуло на збереження або руйнування; як його можна включити до сучасного маршруту без шкоди для спадщини. Запитання такого типу спрямовують увагу не лише на зовнішні ознаки, а й на соціальну, економічну та культурну історію місця. Вони також привчають здобувачів освіти аргументувати висновки й спиратися на спостереження [7].

Окремим напрямом може бути дослідження історії туристичної інфраструктури. Вокзали, пристані, готелі, санаторії, туристичні бази, кемпінги, ресторани, музеї та інформаційні центри відображають потреби мандрівників певної епохи. Їх вивчення дає змогу побачити взаємозв'язок між транспортом, економікою, архітектурою та культурою обслуговування. Учні можуть укласти паспорт об'єкта, де зазначаються дата створення, первісна й сучасна функції, архітектурні особливості, роль у розвитку місцевості та стан збереження. Порівняння кількох об'єктів дозволяє простежити, як змінювалися стандарти комфорту, уявлення про дозвілля та доступність подорожей. Результати можуть бути представлені у вигляді тематичного маршруту «Історія гостинності нашого краю» [9, с. 105].

Перспективним є дослідження нематеріальної культурної спадщини як складової туристичного образу території. Місцеві перекази, пісні, кулінарні традиції, ремесла, обряди, діалектні назви й пам'ять про визначні події нерідко становлять не меншу цінність, ніж архітектурні пам'ятки. Однак їх використання в туризмі потребує особливої етичної чутливості. Учні мають усвідомлювати, що традиція не є декоративним елементом, який можна довільно змінювати заради привабливості. Під час інтерв'ю необхідно отримувати згоду респондентів, точно передавати висловлювання, зазначати джерело й уникати поширення приватної або травматичної інформації. Освітній проєкт може включати створення аудіомаршруту, збірника рецептів, каталогу ремесел або карти локальних топонімів із поясненням їх походження.

Інтеграція природничого компонента дає змогу розкрити зв'язок між туризмом і довкіллям. Маршрут може бути побудований навколо геологічних відслонень, водних об'єктів, лісових масивів, ландшафтних комплексів або природоохоронних територій. Учні вивчають не лише привабливість об'єкта, а й його вразливість, сезонні зміни, допустиме рекреаційне навантаження та правила поведінки. Корисним є завдання оцінити маршрут за критеріями сталості: доступність громадським транспортом, наявність місць для сортування відходів, безпечність стежок, інформаційне забезпечення, вплив на місцеву екосистему. Такий аналіз формує розуміння, що туристична цінність природного об'єкта безпосередньо залежить від його збереження [6, с. 214].

Концепція сталого туризму в освітній роботі має розкриватися через конкретні рішення. Здобувачі освіти можуть розрахувати орієнтовний екологічний слід різних способів пересування, порівняти одноразові й багаторазові матеріали, оцінити наслідки масового відвідування популярних локацій. Під час проєктування маршруту доцільно передбачати невеликі групи, використання місцевих послуг, рівномірний розподіл відвідувачів між об'єктами та повагу до приватного простору мешканців. Важливо пояснювати, що сталий туризм не зводиться до прибирання сміття, а охоплює економічну справедливість, збереження культурної автентичності, участь громади в ухваленні рішень і довготривале використання ресурсів. Освітній маршрут повинен демонструвати ці принципи власною організацією.

Цифрові технології істотно розширюють можливості краєзнавчо-туристичної роботи. За допомогою геоінформаційних сервісів можна прокладати маршрути, вимірювати відстані, наносити об’єкти й створювати інтерактивні шари. Мобільні пристрої дають змогу фіксувати координати, фотографії, аудіо та короткі польові нотатки. Віртуальні тури, тривимірні моделі й панорамні зображення забезпечують доступ до віддалених або тимчасово недоступних пам’яток. Водночас цифровізація потребує критичного ставлення: автоматично сформований опис може містити помилки, користувацькі фотографії – порушувати приватність, а популярні онлайн-рейтинги – створювати спрощений образ території. Тому учнів слід навчати перевіряти джерела, зазначати авторство, дотримуватися ліцензій і не публікувати чутливі геодані [14, с. 49].

Віртуальна екскурсія є доцільною не лише як заміна фізичної подорожі, а й як окремий освітній жанр. Її підготовка передбачає сценарій, добір об’єктів, логіку переходів, текстові й аудіокоментарі, питання для користувача та перевірку доступності матеріалу. Якісна віртуальна екскурсія не повинна перетворюватися на послідовність фотографій; вона має створювати проблемну ситуацію, пропонувати порівняння, демонструвати зміни в часі й стимулювати самостійне дослідження. Учні можуть поєднати сучасні панорами з архівними світлинами, нанести на карту втрачені об’єкти, додати спогади мешканців. Такий продукт є особливо важливим для роботи з територіями, доступ до яких обмежений безпековими умовами.

Інклюзивний підхід передбачає, що краєзнавчо-туристична діяльність планується з урахуванням різних фізичних, сенсорних, когнітивних і комунікативних потреб. Доступність маршруту оцінюється ще до початку заходу: наявність пандусів, стан покриття, ширина проходів, місця відпочинку, доступні санітарні приміщення, рівень шуму та можливість скорочення дистанції. Інформаційні матеріали можуть містити великий шрифт, контрастні схеми, аудіоописи, просту мову або піктограми. Розподіл ролей у групі повинен давати кожному учасникові реальне й значуще завдання. Інклюзія в цьому контексті розуміється не як формальна присутність, а як повноцінна участь у спостереженні, ухваленні рішень і створенні підсумкового продукту [10].

Важливим складником є підготовка педагога. Учитель або керівник гуртка має володіти знаннями з історії та географії туризму, методикою польового дослідження, навичками навігації, домедичної допомоги, управління групою й цифрового картографування. Не менш важливо вміти оцінювати ризики, добирати завдання відповідно до віку та підтримувати дослідницьку ініціативу учнів. Підготовка маршруту передбачає попередній вихід педагога, перевірку стану доріг і об’єктів, контактів відповідальних установ, транспортного сполучення та альтернативних варіантів. Педагог також відповідає за етичність взаємодії з місцевою громадою і за коректне представлення складних сторінок історії [14, с. 50].

Оцінювання результатів роботи має охоплювати не лише обсяг засвоєної інформації. Доцільно враховувати якість постановки запитань, роботу з

джерелами, точність спостережень, дотримання правил безпеки, внесок у групову діяльність, аргументованість висновків і відповідальність під час презентації матеріалів. Можна використовувати рубрики оцінювання, де окремо визначено дослідницький, комунікативний, практичний і рефлексивний компоненти. Самооцінювання та взаємооцінювання допомагають учням усвідомити власний внесок і побачити, які навички потребують розвитку.

Рефлексія після подорожі є необхідним етапом перетворення вражень на знання. Учні можуть відповісти на питання, що було несподіваним, які припущення підтвердилися, які джерела виявилися суперечливими, що вдалося побачити лише безпосередньо на місцевості. Корисно обговорити, як змінилося ставлення до території, які проблеми були помічені та що можна зробити для їх розв'язання. Рефлексія може мати форму щоденника, короткого есе, карти вражень, аудіозапису або групової дискусії. Вона дає педагогові інформацію про результативність маршруту й допомагає вдосконалити наступні заходи.

Проєктна діяльність дозволяє продовжити роботу після екскурсії. Зібрані матеріали можуть стати основою для путівника, цифрової карти, виставки, подкасту, відеофільму або серії інформаційних табличок. Важливо, щоб продукт відповідав визначеній проблемі та був корисним для громади. Наприклад, учні можуть розробити безбар'єрний маршрут, підготувати рекомендації щодо збереження маловідомої пам'ятки, створити аудіоописи для музейної експозиції або нанести на карту місця, пов'язані з історією освіти. Реальна суспільна адресованість підвищує мотивацію й формує відчуття відповідальності за якість роботи [5].

Співпраця із зовнішніми партнерами посилює практичний характер краєзнавчо-туристичної діяльності. Музеї, архіви, бібліотеки, туристичні інформаційні центри, громадські організації, природоохоронні установи та органи місцевого самоврядування можуть надавати джерела, консультації й майданчики для презентації результатів. Фахівці допомагають учням опановувати професійні методи опису, каталогізації, інтерпретації та збереження матеріалів. Водночас заклад освіти повинен чітко визначати освітню мету партнерства, щоб участь учнів не зводилася до рекламної або технічної роботи. Спільний проєкт має передбачати взаємну користь, етичне використання результатів і зазначення авторства [13].

У багатокультурному середовищі особливо важливо показувати територію як простір взаємодії різних спільнот. Туристичний маршрут може включати пам'ятки різних конфесій, мовних і етнічних груп, місця співпраці та конфліктів, історії переселень і культурного обміну. Завдання педагога полягає в тому, щоб уникати стереотипізації та однобічного представлення минулого. Доцільно залучати джерела різного походження, порівнювати назви об'єктів різними мовами, аналізувати, як змінювалася пам'ять про події. Такий підхід формує повагу до культурного різноманіття й допомагає усвідомити, що туристична привабливість регіону часто є результатом тривалої взаємодії культур.

Окремої уваги потребують місця пам'яті та об'єкти, пов'язані з травматичними подіями. Їх відвідування повинно мати чітко сформульовану освітню мету, відповідати віку учасників і передбачати попередню підготовку. Недопустимими є розважальна подача, постановочні фотографії або використання трагедії як сенсаційного туристичного продукту. Педагог має пояснити правила поведінки, надати історичний контекст, дати можливість для запитань і рефлексії. У підсумкових матеріалах слід точно відтворювати факти, поважати гідність постраждалих і уникати мови, що романтизує насильство. Такий досвід сприяє розвитку етичної відповідальності та культури пам'яті.

В умовах воєнних загроз і вимушеного переміщення краєзнавчо-туристична робота набуває нових форм. Частина територій і пам'яток може бути недоступною, пошкодженою або втраченою, тому зростає роль цифрового документування, усної історії, сімейних архівів і дистанційної співпраці. Учні можуть досліджувати історію місця проживання до переміщення, порівнювати її з новим середовищем, створювати карти пам'яті та фіксувати досвід громад. Водночас безпека має безумовний пріоритет: не можна публікувати актуальні координати чутливих об'єктів, фотографувати військову інфраструктуру або організовувати виходи в небезпечні зони. Освітній потенціал полягає в збереженні зв'язку з культурною спадщиною та формуванні стійкості без ризику для учасників.

Краєзнавчо-туристична робота може сприяти професійній орієнтації. Під час проходження маршрутами здобувачі освіти знайомляться з професіями екскурсовода, туроператора, музейного працівника, географа, історика, архівіста, картографа, фахівця з гостинності, природоохоронця, дизайнера й розробника цифрового контенту. Практичні завдання дозволяють випробувати окремі професійні ролі: підготувати екскурсійний текст, розрахувати логістику, створити карту, провести інтерв'ю, розробити візуальну айдентику маршруту. Важливо водночас показувати, що робота в туризмі передбачає відповідальність за безпеку, достовірність інформації, якість сервісу та збереження ресурсів [14, с. 8].

Для забезпечення системності краєзнавчо-туристичну роботу доцільно планувати не як сукупність разових заходів, а як послідовну програму. На початковому рівні переважають короткі спостереження, прогулянки та робота з простими планами місцевості. Далі додаються тематичні екскурсії, порівняння джерел, елементи інтерв'ювання й картографування. На подальших етапах учні можуть виконувати комплексні дослідження, створювати маршрути, аналізувати туристичні потоки та пропонувати рішення для громади. Послідовність забезпечує поступове ускладнення завдань і накопичення практичного досвіду. Кожен наступний проєкт має спиратися на попередні результати, але ставити нову проблему [11, с. 4].

Ефективність програми можна оцінювати за кількома групами показників. Освітні результати виявляються в поглибленні знань, умінні працювати з картою та джерелами, здатності пояснювати просторові й історичні зв'язки. Особистісні результати проявляються в самостійності, відповідальності, готовності до

співпраці та повазі до спадщини. Практичні результати можуть бути представлені створеними маршрутами, картами, каталогами, виставками або рекомендаціями. Суспільний ефект визначається використанням матеріалів громадою, участю учнів у збереженні об'єктів і налагодженням партнерств. Поєднання цих показників дозволяє уникнути формальної оцінки за кількістю проведених екскурсій.

Отже, розширення змісту краєзнавчо-туристичної роботи повинно відбуватися одночасно в історичному, просторовому, цифровому, етичному та практичному вимірах. Історія світового туризму надає матеріал для розуміння походження сучасних форм мобільності, а локальне дослідження робить цей матеріал особистісно значущим. Поєднання польової роботи, джерелознавчого аналізу, цифрового картографування, проєктування та рефлексії створює умови для цілісного навчання. За такого підходу подорож стає не завершальною розвагою після вивчення теми, а повноцінним способом здобуття, перевірки й суспільного застосування знань.

Практичним результатом системної роботи може бути створення шкільного банку краєзнавчо-туристичних матеріалів. До нього доцільно включати перевірені описи об'єктів, карти маршрутів, фотографії з датою і місцем зйомки, аудіозаписи, інтерв'ю, бібліографію та методичні рекомендації. Важливо впорядкувати матеріали за єдиними правилами, зазначати авторство й умови використання, регулярно оновлювати відомості про стан об'єктів і доступність маршрутів. Такий банк даних може використовуватися під час уроків, гурткової роботи, підготовки екскурсій, студентських практик і співпраці з громадою. Він також допомагає зберігати результати попередніх проєктів, щоб кожна нова група не починала дослідження з нуля, а продовжувала й поглиблювала вже накопичений матеріал.

Доцільно також запроваджувати порівняльні проєкти між закладами освіти різних регіонів або країн. Учасники можуть досліджувати однакові типи об'єктів – історичні вокзали, сакральні споруди, курорти, музеї, природні стежки – а потім зіставляти результати. Така співпраця розширює просторовий горизонт, розвиває міжкультурну комунікацію та допомагає побачити спільні європейські тенденції поряд із локальною своєрідністю. Формат може передбачати спільну цифрову карту, відеоконференцію, обмін мініекскурсіями або підготовку двомовного путівника. При цьому необхідно узгодити критерії опису, правила використання матеріалів і способи перевірки фактів. Порівняльний підхід особливо цінний для розуміння того, як одні й ті самі історичні процеси по-різному виявлялися в конкретних територіях [3, с. 24].

Отже, сучасна краєзнавчо-туристична робота в закладах освіти повинна поєднувати змістову глибину, методичну послідовність і суспільну відповідальність. Її результативність залежить від того, наскільки вдало педагог пов'язує історичний матеріал із реальним простором, добирає доступні форми участі, забезпечує безпеку й перетворює зібрані відомості на осмислений продукт. У такій діяльності історія світового туризму виступає не фоновою інформацією, а

системою координат для інтерпретації локальних явищ. Вона дозволяє побачити, як зміни транспорту, освіти, дозвілля, економіки та культурних контактів відбилися на житті конкретних громад. Саме тому краєзнавчо-туристичний напрям має потенціал стати одним із дієвих засобів інтегрованого навчання, громадянського виховання та збереження культурної спадщини.

Змістовне наповнення маршруту доцільно перевіряти за принципом балансу. У ньому мають бути представлені природні, історичні, культурні та соціальні аспекти території, а також передбачені завдання для спостереження, аналізу й обговорення. Надмірна кількість об'єктів знижує якість сприйняття, тому краще зосередитися на кількох локаціях, але розкрити їх у різних вимірах. Для кожної зупинки варто визначити основне питання, джерело інформації, спосіб активної участі та очікуваний результат. Така структура допомагає уникнути перевантаження фактами й забезпечує логічний зв'язок між окремими частинами маршруту.

Суттєве значення має також поширення результатів. Публічна презентація маршруту, виставка, електронна карта або відкритий захід дозволяють перевірити зрозумілість і достовірність підготовленого матеріалу. Зворотний зв'язок від фахівців, мешканців громади та інших учнів може виявити неточності, однобічність або пропущені сюжети. Після обговорення матеріали доцільно доопрацювати й лише тоді розміщувати у відкритому доступі. Такий цикл – дослідження, презентація, критичний відгук і коригування – наближає освітню діяльність до реальної наукової та професійної практики.

Отже, дослідження історії світового туризму, яка відображає багатовіковий розвиток людської мобільності – від практично зумовлених переміщень до організованих подорожей і глобальної туристичної індустрії, може стати одним з провідних напрямів краєзнавчо-туристичної роботи в закладах освіти. Кожний етап такої роботи формує нові мотиви, маршрути, засоби пересування, форми гостинності та способи пізнання територій. Здобувачі освіти пересвідчуються, що перетворення туризму на масове явище стало результатом сукупної дії соціально-економічних, технологічних і культурних чинників, важливу роль серед яких відіграли громадські туристичні організації та правове регулювання [16, с. 214].

У закладах освіти історія туризму має розглядатися не лише як сукупність фактів, а як ресурс інтегрованого й компетентнісного навчання. Її дослідження у ході краєзнавчо-туристичної роботи дає змогу пов'язати глобальні історичні процеси з локальним середовищем і перетворити здобувача освіти на активного дослідника території.

Список використаних джерел

1. Абрамов В. Історія туризму крізь призму недосконалості законодавчої бази туризму. *Теорія і практика фізичної культури і спорту*. 2022. Т. 1, № 2. С. 126–132. URL: https://tppcs.com.ua/journals/vol-1-no-2-2022/the-history-of-tourism-through-the-prism-of-the-imperfection-of-the-legislative-base-of-tourism (дата звернення: 6.08.2026).

2. Абрамов В. Туристські самодіяльні організації як складова частина вітчизняного спортивного туризму. *Теорія і практика фізичної культури і спорту*. 2023. Т. 2, № 1. С. 124–131. URL: https://tppcs.com.ua/en/journals/vol-2-no-1-2023 (дата звернення: 6.08.2026).

3. Аніпко Н. П. Туристичне країнознавство. Західна та Північна Європа: навч. посіб. Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича: Рута, 2022. 235 с.

4. Браславська О. Формування громадянської ідентичності здобувачів засобами краєзнавчо-туристичної діяльності в закладах освіти. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*. 2025. Випуск № 4. С. 229–235. URL: https://new.ejournal.cdu.edu.ua/pedagogics (дата звернення: 6.08.2026).

5. Браславська О. В. Культурно-туристичні маршрути малих міст України: між збереженням історичної спадщини та сучасними викликами сталого розвитку. *Економіка і регіон*. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава: Видавничий дім «Гельветика», 2025. № 4 (99). С. 32–40. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/item/76812 (дата звернення: 6.08.2026).

6. Браславська О. В., Рожі І. Г. Краєзнавство і туризм: навч. посіб. Умань: ВПЦ «Візаві», 2023. 307 с. URL:https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi81/0061547.pdf (дата звернення: 6.08.2026).

7. Дічек Н. Освітнє краєзнавство в Україні: оновлення теоретичних засад і виклики інформаційної війни. *Український педагогічний журнал*. 2024. № 2. С. 172–187. URL: https://uej.undip.org.ua/index.php/journal/article/view/754 (дата звернення: 6.08.2026).

8. Доценко А. І. Туристичне краєзнавство: навч. посіб. Київ: Університет «Україна», 2022. 127 с.

9. Заячук О. Г., Брик С. Д. Історія туризму: навч. посіб. Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. 200 с.

10. Коваленко В. Є. Позашкільна освіта як чинник соціалізації школярів з інтелектуальними порушеннями. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова.* Серія 19: Корекційна педагогіка та спеціальна психологія. 2022. Вип. 43. С. 16–26.

11. Кухтій А. О. Організація краєзнавчо-туристичної роботи: теми семінарських занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей 014 «Середня освіта (фізична культура)» та 017 «Фізична культура і спорт». Львів: Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського, 2021. 5 с.

12. Лиман С. І., Парфіненко А. Ю., Посохов І. С. Історія туризму: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2024. 372 с.

13. Любіцева О. О., Кочеткова І. В. Туристичне краєзнавство: сутність, методи, значення. *Вісник Київського національного університету культури і мистецтв*. Серія: Туризм. 2021. Т. 4, № 2. С. 138–148. URL: https://tourism.knukim.edu.ua/article/view/249692 (дата звернення: 6.08.2026).

14. Мельник І. Г. Туристично-краєзнавча робота в школі: навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої педагогічної освіти. Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. 95 с.

15. Стафійчук В. І., Малиновська О. Ю. Туристичне країнознавство: навч. посіб.: у 4 т. Т. 1: Європа. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. 281 с.

16. Устименко Л. М., Афанасьєв І. Ю. Історія туризму: навч. посіб. 4-те вид., перероб. і допов. Київ: Ліра-К, 2021. 242 с.

1.6. Formation of Financial Stability and Profitability of the Sectors of Ukraine's Economy Under Conditions of Instability Through the Prism of Financial Leverage

Financial leverage is one of the most important levers influencing enterprise profitability, as it determines the extent to which the result for owners depends on the attraction of debt capital and the cost of servicing it. The economic effect of leverage is not unambiguous: it can significantly enhance profitability under favorable profitability of operating activities; however, when financial results deteriorate, it quickly transforms into a source of losses due to an increase in interest expenses. The relevance of the study lies in the need to identify the conditions under which leverage increases the efficiency of using equity capital and to outline situations when it becomes a factor of financial vulnerability.

The problem statement in general terms comes down to the fact that the impact of financial leverage on profitability is not universal and depends on sectoral specifics, the stability of operating cash flows, the structure of assets, and the model of income generation. Identical decisions regarding the share of borrowed capital may produce opposite consequences in different sectors of the economy. This is directly related to important practical tasks: optimizing the capital structure, maintaining solvency, determining an acceptable debt burden, and assessing the enterprise's ability to service its liabilities without losing financial performance. Particular attention needs to be paid to the study of sectoral differentiation: from the IT sector, where the main assets are human capital and intellectual property, to capital-intensive energy, retail with its high turnover, and the banking sector, where borrowed funds are the basis of operating activities. The identification of analytical indicators that signal the transition from "manageable" debt to a state of financial distress is critically important for domestic economic science and practice.

The research methodology is based on a comprehensive combination of general scientific and special methods of financial analysis. To achieve the objective, annual financial statements of representative enterprises from four sectors of Ukraine for the period 2019-2025 were used: the IT sector (EPAM SYSTEMS LLC), the energy sector (SE "NAEK "Energoatom"), the retail sector (ATB-MARKET LLC), and the banking sector (PUMB JSC).

To identify the specifics of the impact of leverage, a comparative characterization of the manifestation of the financial lever depending on the sectoral nature of assets and the operating model was developed (Table 1).

Table 1.

Sectoral specifics of the formation of financial leverage and profitability

Sector	Characteristics of the financial model	Typical level of financial leverage	Specifics of the impact on profitability
IT	Low capital intensity, predominance of intangible assets, financing through equity capital	Low financial leverage ratio D/E, high interest coverage ratio	Return on equity (ROE) is formed predominantly through operating efficiency; leverage has a limited impact
Energy	High capital intensity, long-term investment projects, a significant share of borrowed capital	High debt concentration ratio D/A, moderate interest coverage	Financial leverage can increase return on equity (ROE) with stable operating profit (EBIT), but increases financial risks
Retail	High asset turnover, a significant share of current liabilities	Moderate or volatile financial leverage ratio D/E	Return on sales (ROS) is sensitive to debt burden and operating expenses (due to low margins)
Banking sector	Financial intermediation, dominance of liabilities in the capital structure	Structurally high financial leverage ratio D/E	Return on equity (ROE) depends on the spread (interest margin) and the quality of risk management. Leverage is the main operating instrument, but is strictly regulated by regulatory capital requirements

Source: compiled by the authors based on sources [1–7].

For quantitative assessment, the methods of ratio analysis and deterministic analysis were used. Ratio analysis makes it possible to assess the financial structure and profitability in dynamics, while the deterministic approach (the financial leverage effect model) makes it possible to mathematically determine the increase in return on equity due to the attraction of borrowed funds. The system of indicators formed for the analysis is presented in Table 2.

Table 2.

System of indicators for assessing leverage and profitability

Indicator Group	Indicator Name	Calculation Formula	Economic Meaning
Financial leverage indicators	Financial leverage ratio (D/E)	Borrowed capital / Equity capital	Characterizes the enterprise's dependence on external borrowing.
	Debt concentration ratio (D/A)	Borrowed capital / Assets	Share of assets formed through debt obligations.
Debt servicing capacity	Interest coverage ratio (ICR)	Operating profit / Financial expenses	Determines the margin of safety: if ICR < 1, debt becomes "toxic."
Profitability indicators	Return on equity (ROE), %	Net profit / Equity capital * 100%	Efficiency of the use of owners' funds.
	Return on assets (ROA), %	Net profit / Assets * 100%	Overall efficiency of the use of all capital of the enterprise.
	Return on sales (ROS), %	Net profit / Net revenue from sales * 100%	Share of profit in each hryvnia of revenue received.
Integral indicator	Effect of financial leverage (EFL), %	$(1-t) \times (ROA - AIR) \times \frac{DC}{EC}$	Indicator of the increase/decrease in return on equity (ROE) due to the

		t – corporate income tax rate; ROA – return on assets; AIR – average interest rate on loans; DC – debt capital; EC – equity capital	attraction of loans, which makes it possible to assess the feasibility of attracting borrowed funds.

Note: t – corporate income tax rate, which for non-financial enterprises is 18%, while for the banking sector in 2023–2025 it was increased to 50% in accordance with changes in legislation; СП – average interest rate on borrowings, calculated as the ratio of financial expenses to the average annual amount of borrowed capital.

For the calculation of profitability (ROE, ROA), the average annual value of capital and assets was used to ensure the accuracy of comparison with flow-based profit indicators.

In the course of the study, based on the developed deterministic model, the financial leverage and profitability indicators were calculated for representative enterprises of four sectors of Ukraine's economy for the period 2019–2025. The obtained results make it possible to identify specific sectoral patterns in the transformation of debt burden into financial results. The summarized results of the calculations of the key indicators for the selected period are presented in Table 3.

The visualization of the calculated indicators (Fig. 1-4) clearly confirms the hypothesis of deep sectoral differentiation of the mechanisms of the impact of financial leverage on enterprise profitability.

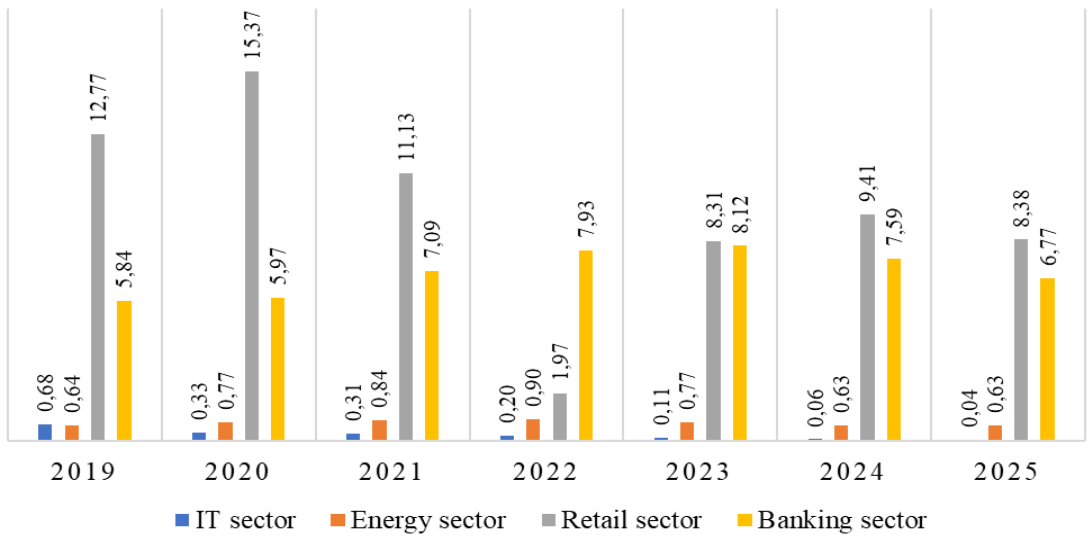


Fig. 1. Dynamics of the financial leverage ratio (D/E) by sectors of the economy in Ukraine for 2019–2025.

The analysis of the financial indicators of EPAM SYSTEMS LLC revealed a stable trend toward self-financing: over seven years, the D/E ratio decreased 17-fold, from 0.68 to 0.04. This led to an increase in the ICR to a critically high level of 155.76, indicating a complete absence of insolvency risk. Particular attention should be paid to 2022, when the enterprise achieved a peak return on assets (ROA = 38.55%) and return

on sales (ROS = 17.03%), which made it possible to achieve a record ROE of 4.63%. At the same time, the contribution of borrowed capital (EFL) was gradually neutralized, decreasing to 4% in 2025.

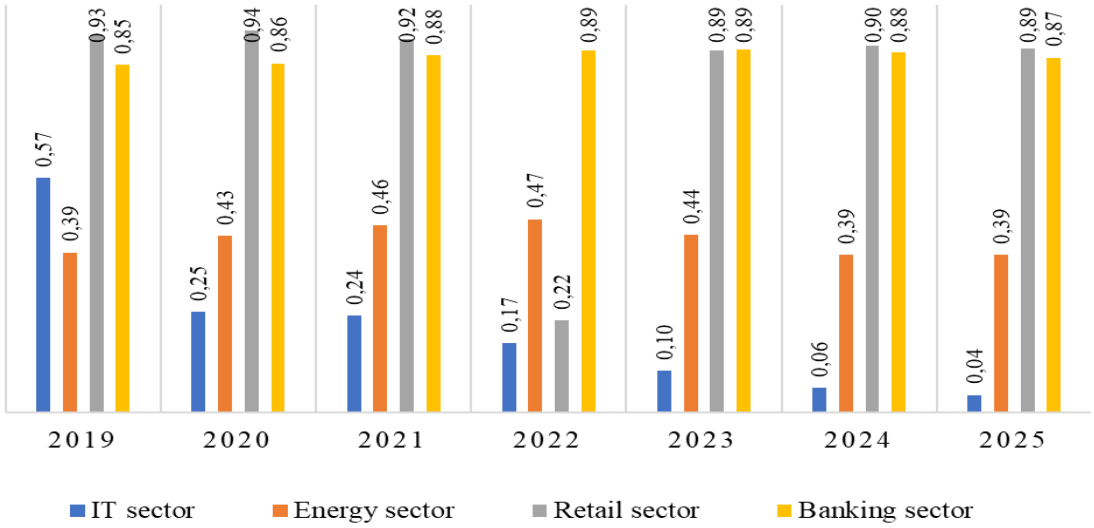


Fig. 2. Dynamics of the debt concentration ratio (D/A) by sectors of the economy in Ukraine for 2019–2025.

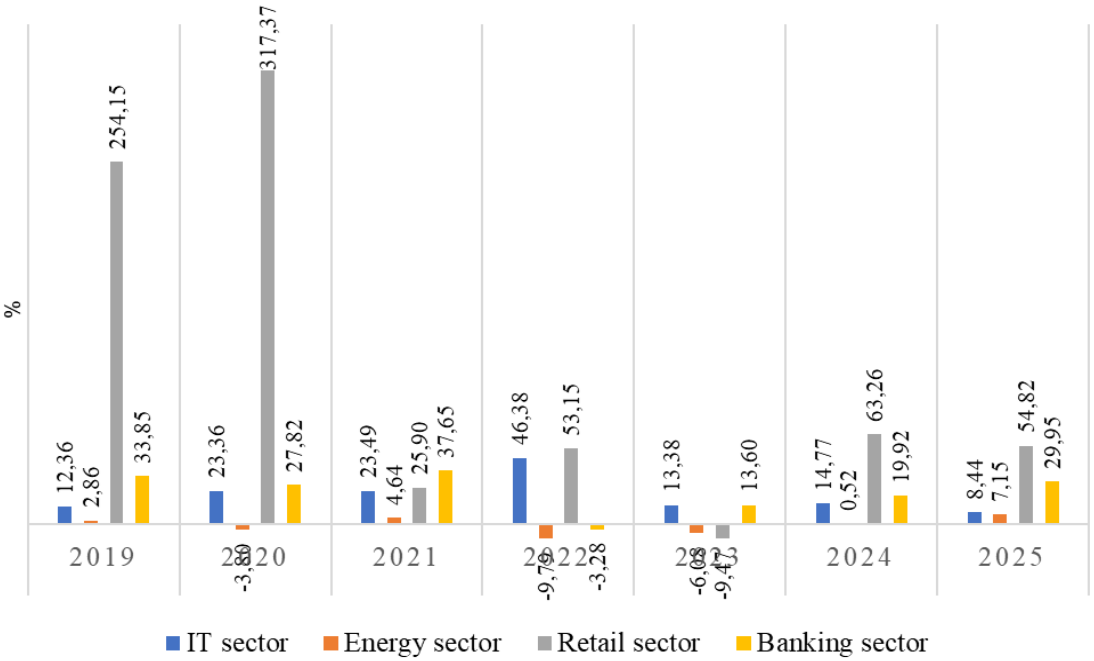


Fig. 3. Dynamics of return on equity (ROE) by sectors of the economy in Ukraine for 2019–2025.

Table 3. Dynamics of Leverage and Profitability by Sectors of Ukraine's Economy for 2019–2025.

Name of the Business Entity	Years	Financial Leverage Indicators			Profitability Indicators			Impact Assessment
		Financial leverage ratio (D/E)	Debt concentration ratio (D/A)	Interest coverage ratio (ICR)	Return on equity (ROE), %	Return on assets (ROA), %	Return on sales (ROS), %	Effect of financial leverage (EFL), %
IT sector – EPAM SYSTEMS LLC	2019	0,68	0,57	15,62	12,36	10,51	5,43	5,10
	2020	0,33	0,25	8,59	23,36	17,60	9,02	1,65
	2021	0,31	0,24	39,43	23,49	17,92	8,15	3,97
	2022	0,20	0,17	26,63	46,38	38,55	17,03	4,63
	2023	0,11	0,10	54,46	13,38	12,03	10,39	0,86
	2024	0,06	0,06	63,49	14,77	13,90	14,69	0,48
	2025	0,04	0,04	155,76	8,44	8,08	10,37	0,24
Energy sector – SE "NAEK "Energoatom	2019	0,64	0,39	2,37	2,86	1,74	7,73	-2,03
	2020	0,77	0,43	-0,63	-3,80	-2,15	-10,61	-3,66
	2021	0,84	0,46	2,89	4,64	2,53	7,12	-0,74
	2022	0,90	0,47	-1,68	-9,79	-5,15	-9,24	-7,44
	2023	0,77	0,44	-1,04	-6,08	-3,43	-7,32	-4,99
	2024	0,63	0,39	1,34	0,52	0,32	0,64	-2,60
	2025	0,63	0,39	3,77	7,15	4,39	7,34	-0,31
Retail sector – ATB-MARKET LLC	2019	12,77	0,93	4,18	254,15	18,46	4,20	124,13
	2020	15,37	0,94	6,44	317,37	19,39	4,66	187,07
	2021	11,13	0,92	6,09	25,90	2,13	0,56	-30,32
	2022	1,97	0,22	2,81	53,15	6,06	1,70	-18,65
	2023	8,31	0,89	0,35	-9,47	-1,01	-0,25	-36,37
	2024	9,41	0,90	2,79	63,26	6,06	1,48	15,73
	2025	8,38	0,89	2,57	54,82	5,84	1,39	12,62
Banking sector – PUMB JSC	2019	5,84	0,85	1,27	33,85	4,95	82,37	-2,86
	2020	5,97	0,86	1,32	27,82	3,99	82,40	-1,36
	2021	7,09	0,88	1,96	37,65	4,66	81,93	7,86
	2022	7,93	0,89	-0,10	-3,28	-0,37	81,95	-34,44
	2023	8,12	0,89	1,04	13,60	1,49	48,02	-7,52
	2024	7,59	0,88	2,03	19,92	2,32	22,73	-12,83
	2025	6,77	0,87	2,13	29,95	3,86	46,44	-5,73

Source: calculated by the authors based on the financial statements of the enterprises [10-13].

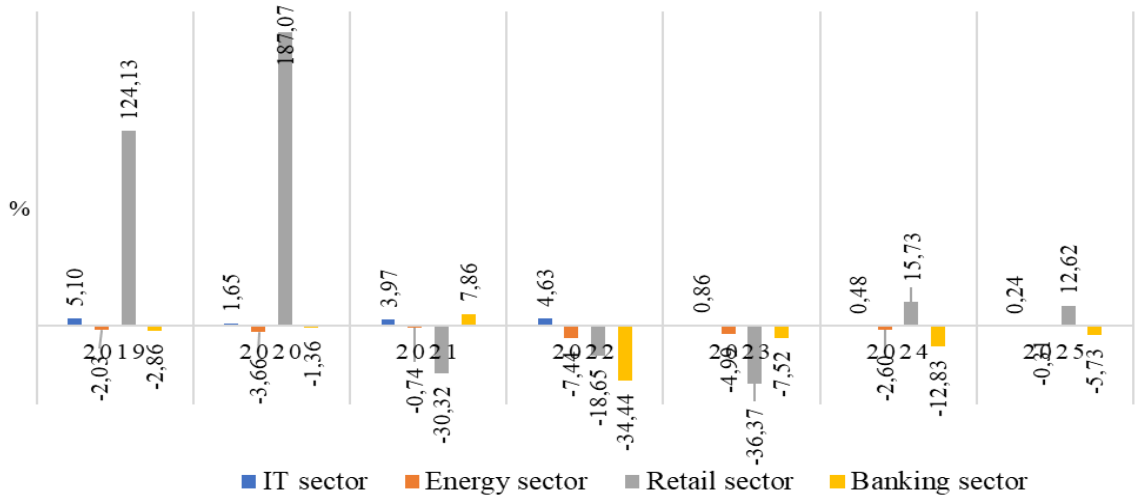


Fig. 4. Dynamics of the effect of financial leverage (EFL) by sectors of the economy in Ukraine for 2019–2025.

For SE "NAEK "Energoatom", debt attraction throughout the entire period was accompanied by a negative EFL value (Fig. 4), indicating a state of financial distress. The most destructive year was 2022: with a decline in return on sales to -9.24% and negative interest coverage (ICR = -1.68), each unit of borrowed capital only deepened losses, which led to a decline in ROE to -9.79%. As of 2025, only a recovery in profitability is observed (ROE = 7.15%); however, the negative EFL (-0.31%) indicates that the debt burden continues to absorb part of the operating result.

The retail sector (ATB-MARKET LLC) demonstrates a unique performance model. In 2020, an anomalous surge in ROE to 317.37% and the highest EFL (187.07%) were recorded. This confirms that in retail, profitability is formed both by financial leverage and by extremely high capital turnover. The crisis year of 2023 should be noted, when the ICR fell to 0.35 and profitability became negative. However, already in 2024–2025, with a fairly significant share of borrowed capital (90%), the company restored ROE to 63.26% and 54.82%, respectively, due to operating efficiency.

The analysis of PUMB JSC also demonstrates a high dependence on leverage (average D/E = 7.19). Only in 2021 did the use of debt ensure a positive increase in performance (EFL = 7.86%). During the other periods, the effect transformed into a critically negative one, reaching –34.44% in 2022. The main factors were a decrease in operating margin (ROS) from 81.93% to 22.73% and the legislative increase in the corporate income tax rate for banks to 50%.

The analysis conducted confirmed that the impact of financial leverage on profitability naturally differs depending on the sectoral specifics and the resilience of enterprises' operating models to economic shocks. While the IT sector demonstrates financial autonomy due to low indebtedness, the retail sector ensures high capital performance primarily through intensive asset turnover rather than through the advantages of borrowed funds. In contrast, for the energy and banking sectors, a high debt burden under conditions of increased tax pressure and low ability to service

liabilities transformed into a factor of financial distress. Therefore, the critical boundary of the efficiency of leverage use for all sectors remains the preservation of operating profitability sufficient to fully cover the cost of attracted capital.

The obtained results confirm the hypothesis of deep sectoral differentiation in the impact of financial leverage on profitability and, at the same time, make it possible to expand and concretize existing theoretical concepts with regard to the Ukrainian context.

First, the identified strategy of minimizing the debt burden in the IT sector (D/E decreased from 0.68 to 0.04 over seven years) is empirical confirmation of the pecking order theory of financing [1]: the most profitable companies with intangible assets and stable cash flows prefer self-financing to maintain independence and minimize risks. This is consistent with the conclusions of Kim & Kwon [6] regarding the specifics of the capital structure of IT companies; however, the data of this study show that under conditions of war-related shocks, this preference becomes even more pronounced: ICR increased to 155.76, while ROE in 2022 reached a record 46.38%, despite the crisis.

Second, the results of the retail sector illustrate an important theoretical phenomenon: high return on equity (ROE = 317.37% in 2020) is achieved with the highest EFL (187.07%), which is explained by the balance sheet structure of ATB-MARKET LLC: extremely low equity capital in the denominator of ROE combined with intensive asset turnover. At the same time, the crisis year of 2023, when ICR fell to 0.35 and profitability became negative, demonstrates extreme sensitivity to operating shocks due to a low "margin of safety" in terms of equity capital.

Third, the state of chronic financial distress in the energy sector (negative EFL throughout 2019–2025) confirms the nonlinear nature of the impact of leverage described by Attia et al. [5]. When ROA is systematically lower than the cost of attracted capital, each unit of debt does not enhance but destroys return on equity. The results are consistent with Mačkić & Šonje [7], who found that in capital-intensive energy, structurally high debt becomes destructive under conditions of tariff restrictions and external shocks – which is exactly what was observed at SE "NAEK "Energoatom" in 2022–2023 (ICR = –1.68 and –1.04, respectively). Unlike previous studies that analyzed peacetime conditions, this study demonstrates that war-related losses can ultimately "block" any positive effect of the financial lever even after a partial recovery of operating profitability.

Fourth, the banking sector illustrates a specific mechanism of transformation of the leverage effect – through the fiscal channel. Despite the corporate income tax rate (18% or 50%), the EFL sign was predominantly negative with an almost unchanged D/E ≈ 7. This confirms the conclusions of Saunders et al. [3] and the requirements of Basel III [4] that the regulatory environment is a key exogenous factor determining the effectiveness of leverage in financial institutions. The distinctive feature of our study is the empirical demonstration of how a fiscal shock (rather than only interest rate or credit risk) can transform structurally normal banking leverage into a source of financial pressure.

At the same time, in the context of the results of Shahzad et al. [8] and Ayaz et al. [9], which record an intensification of the negative impact of leverage on ROA under crisis conditions, our study shows that this effect is asymmetric: for the IT sector, the crisis of 2022 strengthened the positive result (peak ROE), whereas for the energy and banking sectors it deepened financial vulnerability. This indicates that the sectoral operating model mediates the company's response to a crisis, rather than merely the level of debt burden, which is a significant contribution to the development of capital structure theory for economies operating under conditions of extreme instability [4].

The limitation of the study is identified in the analysis, which covers only market leaders, and therefore the results cannot be mechanically extended to small and medium-sized businesses or enterprises with preferential lending, where the conditions of access to capital and the cost of debt differ significantly. In addition, annual data do not make it possible to fully account for intra-year volatility, which is particularly important in the context of 2022. The sample is limited to four enterprises, which complicates statistical generalization. These limitations determine the directions for further research: expanding the sample to enterprises of different sizes, applying panel regression to control for endogeneity, as well as studying the impact of government support programs on the efficiency of debt financing under conditions of post-war recovery.

The conducted study made it possible to establish that financial leverage is one of the most dynamic factors influencing the profitability of business entities in Ukraine; however, its effect has deep sectoral specificity. The institutional and economic environment of the period 2019–2025 created unique conditions for the transformation of the debt burden, where the effectiveness of the use of borrowed capital was determined not only by its amount, but also by the stability of operating cash flows and regulatory changes. The application of the deterministic financial leverage effect model made it possible to objectively assess the increase in return on equity and identify critical points of transition from the stimulating effect of debt to a state of financial distress.

High profitability indicators in the IT sector, using EPAM SYSTEMS LLC as an example, indicate the effectiveness of the self-financing and strategic deleveraging model. It was established that at a minimal level of debt, the formation of owners' performance is ensured exclusively by high operating margins and intellectual capital, which makes this sector the most resilient to financial shocks. In contrast, the retail sector demonstrates a unique model in which extremely high return on equity is based on extreme asset turnover, which makes it possible to offset even the negative effect of financial leverage.

At the same time, the results of the analysis of the energy and banking sectors illustrate significant risks of excessive debt burden. For SE "NAEK "Energoatom", borrowing became a factor of destruction, since under conditions of negative operating profitability, each unit of debt only deepened losses, which is confirmed by the negative value of the leverage effect throughout the entire period under study.

In summary, to strengthen financial stability, the implementation of adaptive capital management models is recommended, where the key constraint should be maintaining the interest coverage ratio (ICR) above one. Under conditions of a wartime economy, it is advisable for businesses to shift the focus from increasing financial leverage toward accelerating asset turnover and diversifying operating revenues. For sectors with a high tax burden, the priority should be the capitalization of retained earnings, which will make it possible to preserve investment potential even with limited access to external capital.

REFERENCES

1. Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2019). Principles of corporate finance (13th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Saunders, A., Cornett, M. M., & Erhemjamts, O. (2020). Financial institutions management: A risk management approach (10th ed.). McGraw-Hill Education.
3. Basel Committee on Banking Supervision. (2014). Basel III leverage ratio framework and disclosure requirements. Bank for International Settlements. https://www.bis.org/publ/bcbs270.pdf
4. Dao, B. T. T., & Ta, T. D. N. (2020). A meta-analysis: Capital structure and firm performance. Journal of Economics and Development, 22(1), 111–129. https://doi.org/10.1108/JED-12-2019-0072
5. Kim, J., & Kwon, O. (2023). The impact of capital structure on the profitability performance of ICT firms. Processes, 11(2), 635. https://doi.org/10.3390/pr11020635
6. Mačkić, V., & Šonje, V. (2021). Does capital structure drive profitability in the energy sector? Energies, 14(16), 4803. https://doi.org/10.3390/en14164803
7. Detthamrong, U., Chancharat, N., & Vithessonthi, C. (2017). Corporate governance, capital structure, and firm performance: Evidence from Thailand. Research in International Business and Finance, 42, 689–709. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.07.011
8. Shahzad, S. J. H., Ali, P., Ahmad, T., & Ali, S. (2015). Financial leverage and corporate performance: Does financial crisis owe an explanation? Pakistan Journal of Statistics and Operations Research, 11(1), 67–90. https://doi.org/10.18187/pjsor.v11i1.781
9. Ayaz, M., Mohamed Zabri, S., & Ahmad, K. (2021). An empirical investigation on the impact of capital structure on firm performance: Evidence from Malaysia. Managerial Finance, 47(8), 1107–1127. https://doi.org/10.1108/MF-11-2019-0586
10. ATB-Market LLC. (2019–2025). Financial statements. Opendatabot. https://opendatabot.ua/c/30487219
11. EPAM Systems LLC. (2019–2025). Financial statements. EPAM Ukraine. https://careers.epam.ua/epam-systems-financial-statement
12. FUIB JSC. (2019–2025). Annual reports. FUIB. https://about.pumb.ua/finance/annual_reports
13. SE NAEK Energoatom. (2019–2025). Public accountability reports. Energoatom. https://energoatom.com.ua/publicna-zvitnist

1.7. Adaptive Management of Resistance to Organizational Change Based on Data and Artificial Intelligence

Digitalization, technological change, shifts in business models, and the acceleration of organizational transformations necessitate a reconsideration of traditional approaches to managing resistance to change. Whereas organizational changes were previously characterized by relatively defined boundaries and implemented as separate projects, modern enterprises increasingly operate in conditions of continuous transformation, where the implementation of one change creates the prerequisites for subsequent changes. Under such conditions, employees' responses can no longer be regarded as a stable variable that can be adequately assessed only at the beginning or after the completion of a transformation. A systematic analysis of contemporary research on digital transformation indicates the need to develop organizational capacity for continuous adaptation and to account for changes in employees' behavior and perceptions throughout the transformation process [5; 11].

The traditional understanding of resistance management is based on the assumption that resistance represents employees' response to the introduction of change, while the task of management is to identify its causes and implement measures to overcome it. This approach remains important; however, it does not fully correspond to the conditions of the contemporary organizational environment, in which not only technologies, structures, and business processes change, but also employees' attitudes toward these changes. Therefore, resistance should be regarded not as a one-time negative reaction, but as a dynamic process that develops, changes, and may intensify or diminish throughout the implementation of change [8; 10].

The dynamic nature of resistance is primarily manifested in changes in its intensity at different stages of transformation. At the initial stage, employees may perceive changes negatively due to insufficient information, uncertainty, or concerns about potential consequences. As they receive more information, become involved in the process, and gain practical experience, their attitudes may change: some employees gradually accept the new conditions, whereas others may intensify their resistance after encountering difficulties in using new technologies or facing the need to acquire new competencies. Thus, the same transformation may generate different responses not only among different employees but also among the same employees at different stages of its implementation [8; 10].

This is particularly important in the context of digital transformation, which changes not only the technical means of performing work but also patterns of interaction, the distribution of responsibilities, competency requirements, and the nature of managerial control. Hanelt et al., synthesizing the findings of 279 scientific studies, note that digital transformation involves the development of more flexible organizational structures capable of continuous adaptation [5]. Accordingly, resistance to digital change also becomes more complex, as it may arise not only from the technology itself but also from changes in organizational roles and processes.

The dynamic nature of resistance is also determined by the heterogeneity of employees: perceptions of transformation depend on professional experience, the

nature of work, level of involvement, access to information, competencies, and expected consequences. Scholkmann proposes considering resistance to digital change simultaneously at the individual, systemic, and learning-related levels, emphasizing the multidimensional nature of this phenomenon [8]. Thus, the same change may be perceived by some groups as an opportunity to improve efficiency and by others as a threat to professional stability.

At the same time, the causes of resistance may also change throughout the transformation process. At the initial stage, the main sources of negative reactions may be insufficient information and uncertainty. Once practical implementation begins, difficulties with adaptation, a lack of the necessary skills, increased workload, or dissatisfaction with managerial decisions may become more prominent. At later stages, resistance may be caused by accumulated negative experiences or declining trust in management. Therefore, identifying the causes of resistance at a particular point in time does not guarantee that they will remain relevant throughout the entire change process.

The implementation of artificial intelligence systems is particularly illustrative in this context. Employees' reactions may be associated with fear of job loss, uncertainty about their ability to use new technologies, distrust of algorithmic decisions, or doubts about the appropriateness of replacing traditional ways of working. Research by Golgeci et al. shows that resistance to artificial intelligence in the workplace has a processual nature, and overcoming it requires the consistent provision of technology accessibility and the complementarity of human labor and technological capabilities [4]. Similarly, Stieglitz et al. emphasize that employees' expectations may not correspond to the actual outcomes of AI implementation, creating additional sources of uncertainty and potentially affecting their attitudes toward technological change [9].

Therefore, it is crucial to distinguish between employees' initial attitudes toward change and their actual reactions during the transformation process. A positive attitude at the outset does not guarantee readiness to accept new conditions after their practical implementation. At the same time, initial skepticism does not necessarily lead to prolonged resistance, as employees may change their position after receiving training, obtaining the necessary support, and gaining positive practical experience. For this reason, assessing resistance only at specific points in time does not fully capture the actual dynamics of employees' reactions to organizational change [4; 8; 10].

In this context, the very understanding of the management task also changes. If resistance is viewed as a static state, it is sufficient to establish its presence, identify its causes, and develop appropriate response measures. If, however, resistance is viewed as a dynamic process, its management should involve continuous monitoring of changes in employees' reactions and timely adjustment of managerial actions. This approach corresponds to the contemporary nature of organizational change, in which transformation involves a sequence of interconnected changes and the continuous refinement of the ways in which they are implemented [5; 11]. Such monitoring should focus not only on the presence of resistance but also on changes in its level, nature, and causes over time. This makes it possible to identify early signals of negative reactions

and adjust communication, training, and organizational measures before resistance reaches a critical level.

The transition from static assessment of resistance to its continuous monitoring highlights the need for appropriate information support for such management. Resistance to change should be viewed as an information process in which managerial decisions are based on data concerning employees' attitudes, behavior, and the outcomes of change implementation. Digital transformation expands organizations' capabilities to collect and analyze such information, which is used not only to monitor financial and operational indicators but also to support managerial decisions concerning employees [5; 11].

For resistance monitoring, it is advisable to combine different information sources, including employee surveys and feedback, HR data, work-performance indicators, corporate communications, inquiries to managers, training data, and employees' actual behavior. The integrated use of these sources makes it possible to assess attitudes toward change, readiness to support it, adaptation problems, engagement levels, productivity, participation in training, and the actual use of new technologies, systems, and procedures.

Of particular importance is the distinction between data on employees' attitudes and their actual behavior. A stated positive attitude toward change is not always accompanied by corresponding behavior, such as active use of a new system. At the same time, certain negative changes in productivity or activity do not necessarily indicate resistance, as they may result from insufficient training, technical difficulties, or a natural adaptation period. Therefore, managerial conclusions should be based on a combination of interrelated indicators and take into account the context of the transformation.

Given the dynamic nature of resistance, the indicators should be grouped into three interrelated categories: indicators of employees' attitudes, behavioral indicators, and organizational outcome indicators. What matters is not only the current value of the indicators but also the direction and rate of their change. For example, a simultaneous decline in employees' willingness to support change, reduced participation in training, refusal to use new tools, and an increase in the number of problem-related inquiries may indicate intensifying resistance. In contrast, a positive attitude, active participation in training, and a gradual increase in the use of a new system may characterize a normal adaptation process.

The combination of heterogeneous data provides a basis for real-time monitoring of resistance, making it possible to detect early signs of its intensification and move from responding to already established problems toward their timely prevention. At the same time, the use of digital data should not be transformed exclusively into a control mechanism. Its purpose is to identify adaptation problems in a timely manner and develop an informed managerial response, which is particularly important in the context of using digital technologies and algorithmic tools [6].

Resistance monitoring can be defined as the systematic collection, comparison, and interpretation of information about employees' attitudes, behavior, and

performance outcomes in order to identify changes in their perceptions of the transformation in a timely manner. Unlike traditional assessment, which is conducted before changes begin, during their implementation, and after their completion, monitoring involves regular observation of the dynamics of relevant indicators. Its purpose is not only to determine the actual level of resistance but also to identify trends that may indicate its emergence.

The need for such an approach is primarily conditioned by the changing nature of contemporary organizational transformations. Digital transformation is not limited to the one-time implementation of a specific technology; rather, it involves simultaneous changes in business processes, organizational structure, competencies, and the business model. Verhoef et al. emphasize the comprehensive nature of digital transformation, which is associated with changes in organizational structures, firm capabilities, and value creation mechanisms [11], which is consistent with the argument for the need for continuous organizational adaptability [5]. Under such conditions, monitoring employees' reactions should also be continuous rather than one-time.

However, continuous monitoring does not imply the need to conduct formal surveys on a constant basis. The frequency and method of collecting information should depend on the nature of the changes, the risk of resistance, and the availability of relevant data. Some information can be obtained through periodic surveys, while other information can be derived from data on the use of digital systems, participation in training, employee inquiries, staff turnover, and work performance. Thus, continuous monitoring does not mean continuously surveying employees, but rather continuously updating information about the state of the organization.

Of particular importance is the comparison of indicators over time. A one-time measure of the level of support for change does not make it possible to determine whether the situation is stable; when the indicator is measured at different stages, however, the direction of its change can be established. Similarly, an isolated decline in productivity does not necessarily indicate increasing resistance. However, if such changes recur and are accompanied by reduced use of the new system and a deterioration in attitudes toward the transformation, they may constitute a compelling signal of emerging problems.

In this context, the concept of an early signal of resistance becomes particularly important. An early signal does not necessarily manifest itself as open opposition to change. It may be preceded by less obvious signs, such as reduced employee participation in training, decreased use of new tools, recurring questions about the appropriateness of the changes introduced, or a deterioration in attitudes toward managerial decisions. Timely identification of such manifestations creates an opportunity for managerial intervention before negative perceptions of change develop into a persistent behavioral pattern. Cieslak and Valor, summarizing research on resistance to digital transformation, note that its development involves a gradual transition from perceiving change as a threat to an emotional reaction and the subsequent formation of a behavioral response [3]. This sequence indicates the existence of a certain time interval between the emergence of negative perceptions of change and

their overt behavioral manifestation, thereby creating opportunities for timely managerial intervention.

Real-time monitoring also requires a differentiated approach to different groups of employees, as an overall organizational indicator may conceal substantial differences between departments. Therefore, for management purposes, it is important not only to determine the overall level of acceptance of change but also to identify where problems arise and which groups of employees require additional support.

At the same time, monitoring data should be linked to specific managerial actions, since merely recording negative changes without an appropriate response limits their practical value. The information obtained should provide a basis for selecting appropriate measures, including additional communication, improved training, employee involvement in discussions, or adjustment of specific elements of the transformation. Monitoring should be integrated into the overall change management cycle, which involves systematic collection and analysis of data, identification of problems, managerial decision-making, implementation of appropriate measures, and subsequent evaluation of their effectiveness.

At the same time, the use of data for monitoring should not be equated with increased control over employees, since digital systems can simultaneously serve as tools for decision support and instruments for monitoring work behavior [6]. Therefore, the resistance monitoring system should primarily focus on understanding the causes of adaptation difficulties and supporting employees rather than on automatically identifying "undesirable" behavior.

Thus, real-time monitoring of resistance represents the next stage in the development of approaches to organizational change management. Its fundamental difference lies in the shift from recording the state of resistance at specific points in time to observing its dynamics, early signals, and differences among employee groups. As a result, a fundamentally different management logic emerges: rather than waiting until resistance becomes an obvious problem, changes in employees' reactions are identified at an early stage and managerial decisions are adapted accordingly [3; 4; 5; 10]. However, implementing such an approach raises a new question: how can a large volume of heterogeneous data be processed efficiently and used to identify trends that are not always apparent through traditional analysis? This provides the basis for considering artificial intelligence as a tool for analyzing and forecasting resistance to change.

Continuous monitoring of employees' reactions involves accumulating a substantial volume of heterogeneous information from surveys, human resource management systems, corporate communications, learning platforms, and digital work systems. This information differs in form, frequency, and content: some of it characterizes employees' attitudes, some reflects actual behavior, while other information concerns organizational performance outcomes. Under such conditions, traditional analysis may not be sufficiently timely to identify relationships between indicators.

The development of artificial intelligence technologies creates new opportunities for the analytical processing of such data. In contemporary research, AI is viewed not only as a technology for automating individual operations but also as a factor transforming organizational processes and interactions between employees and the organization [4; 9]. At the same time, the use of AI in managing resistance to change should be considered specifically in the context of supporting managerial decision-making rather than automatically replacing it.

One of the main capabilities of AI is the processing of large volumes of heterogeneous data. Whereas traditional analysis involves working with individual indicators, algorithmic tools can simultaneously take into account a large number of parameters and identify relationships between them. This is particularly important for resistance management because its manifestations are rarely determined by a single factor. Changes in employees' attitudes may be associated with simultaneous changes in workload, performance, participation in training, and use of a new digital system. Artificial intelligence has the potential to identify such relationships more quickly than is possible through exclusively manual data processing.

Another important capability is the analysis of textual information. A significant proportion of employees' reactions is not directly reflected in formalized indicators but is contained in responses to open-ended survey questions, electronic inquiries, or messages in corporate communication channels. Subject to compliance with confidentiality requirements, AI tools can be used to systematize such information and identify recurring problems and themes. This provides an important complement to quantitative indicators because an indicator alone does not always explain why a particular change is occurring. For example, a decline in support for digital transformation may be associated with fear of job loss, difficulties in using new technology, or negative experiences with previous changes. It is therefore crucial for managers to distinguish between these situations, as each requires a different response.

In this context, an important area of AI application is the detection of early signals of resistance, namely identifying changes in data that may precede overt manifestations of negative behavior: deviations from previous trends, changes in relationships between indicators, or the recurrence of particular problems. However, detecting a signal does not in itself mean that AI can definitively establish the presence of resistance, since any deviation may have several explanations. For example, reduced use of a new system may be caused by technical failures rather than negative attitudes. Therefore, the results of algorithmic analysis should be regarded as a basis for additional managerial assessment rather than as an automatic conclusion about a particular employee or group.

Another promising capability is forecasting the development of resistance. If an organization accumulates data on previous transformations, employees' reactions, and the outcomes of managerial interventions, these data can be used to identify typical patterns and assess the likelihood of intensified negative reactions under certain conditions. In this case, AI performs not only an analytical but also a predictive function, helping to answer not only the question "what is happening?" but also "what

may happen next?". The predictive nature of analytics is particularly important for the transition from reactive to adaptive management. If management receives information about intensifying resistance only after employees have stopped using a new system, the opportunities to prevent negative consequences are limited. If, however, the system makes it possible to detect a gradual deterioration in attitudes at an early stage, management can timely adjust communication, training, or other elements of the transformation.

At the same time, it is necessary to recognize that the use of AI does not in itself guarantee objectivity in resistance management. The quality of the results depends on the quality, completeness, and correct interpretation of the data. If the system receives incomplete or biased data, the results of the analysis may also be inaccurate, while automatically classifying certain behavior as "resistance" may lead to incorrect managerial conclusions. Therefore, algorithmic analysis should complement rather than eliminate the professional judgment of managers. It should be used to systematize information, identify trends, and generate forecasts, while the final decision regarding the causes of a problem and the appropriate response should remain with management.

The development of artificial intelligence capabilities changes not so much the nature of resistance management itself as the approaches to its information support. Whereas management previously relied to a considerable extent on periodic surveys and direct observation, modern digital technologies make it possible to develop a comprehensive system that combines different data sources, tracks their dynamics, identifies relationships, and supports forecasting of possible developments [4; 6; 9]. Under this approach, resistance management involves the systematic collection and accumulation of data, their analytical processing, identification of early signals, assessment of possible developments, and adoption of appropriate managerial decisions. Employees' responses to implemented managerial measures generate new data, which become the basis for further analysis and adjustment of managerial actions. This cyclical nature creates the foundation for moving from the use of AI primarily as an analytical tool toward the development of a data-driven adaptive mechanism for managing resistance to organizational change.

The application of data and AI tools to monitor resistance to change should not be limited to identifying problems. The main managerial value of information lies in the ability to timely adjust the nature of managerial intervention in accordance with employees' actual reactions. This approach forms the basis of adaptive resistance management, in which managerial measures are not determined once and for all at the beginning of the transformation but are refined as new information becomes available.

The need for adaptability follows directly from the dynamic nature of resistance: employees' reactions may change depending on the stage of transformation, the nature of the changes, the experience gained, and the outcomes of previous managerial interventions [8; 10]. Therefore, the same managerial action cannot be equally effective throughout the entire transformation period. At the initial stage, the main problem may be insufficient information, requiring enhanced communication. Once practical implementation begins, a lack of skills may become the primary issue, making training

the priority. If, however, the negative reaction is related to actual shortcomings of the new system, it may be necessary to modify the decision itself rather than make additional efforts to convince employees of its appropriateness.

An important characteristic of this approach is the shift from reactive to proactive management. Reactive management involves intervention after a problem has already become apparent: employees openly refuse to use the new system, productivity declines, or employee turnover increases. A proactive approach involves using early signals to prevent further development of a negative situation. If the monitoring system detects a gradual decline in trust in the transformation and reduced participation in training, managerial measures can be adjusted before overt resistance emerges.

At the same time, adaptability does not mean automatically changing decisions in response to every fluctuation in an individual indicator. Data should be interpreted in context and with consideration of the relationships between different indicators. For example, a temporary decline in productivity during the adoption of a new technology may be a natural consequence of the learning process. If, at the same time, the level of support for the change remains stable and the use of the new system gradually increases, there is no basis for concluding that resistance is intensifying. By contrast, a simultaneous deterioration in attitudes, declining activity, and the spread of practices involving a return to previous procedures require a different managerial response.

The differentiation of managerial measures is particularly important. Identifying different levels of resistance among particular groups of employees means that applying the same response across the organization may be ineffective. One group may need additional information, another may require practical training, while a third may benefit from direct involvement in refining new processes. In this case, data are used not to formally rank employees according to their level of "loyalty to change," but to determine what type of support different groups need for successful adaptation. This point is particularly important for digital transformation because it can simultaneously change technologies, work processes, competencies, and organizational roles, requiring precisely the organizational flexibility discussed above [5].

In this process, AI can perform a supporting function by enabling faster processing of information. Based on the available data, it can help identify groups of indicators that change simultaneously, detect atypical deviations, and assess likely trends, which is consistent with the processual nature of resistance to artificial intelligence discussed above [4].

At the same time, adaptive management involves the possibility of adjusting not only measures aimed at overcoming resistance but also the transformation process itself. If continuous monitoring shows that employees' negative reactions are caused by objective shortcomings of the new technology, inconvenient work processes, or excessive workload, it is not sufficient merely to strengthen communication. The relevant element of the transformation itself needs to be reconsidered. Thus, resistance may serve not only as an obstacle but also as a source of information about problems with the managerial decision itself.

This understanding changes the traditional view of resistance. If any negative reaction is automatically regarded as undesirable behavior, management may lose important information about shortcomings in the transformation. By contrast, analyzing the causes of resistance may indicate the need to change timelines, procedures, or ways of organizing work. Thus, adaptive management involves a two-way relationship: the organization influences employees' reactions, while employees' reactions, in turn, may provide a basis for adjusting the transformation itself. This perspective is consistent with the contemporary approach to digital transformation, within which change is viewed as a nonlinear and iterative process. Kasian and Hrynko note that digitalization necessitates a rethinking of strategic change management mechanisms, which are becoming increasingly dynamic, nonlinear, and iterative [1].

Thus, data-driven adaptive management of resistance to change can be defined as an organizational approach in which information about employees' attitudes, behavior, and performance is systematically used to identify changes in the level and nature of resistance, forecast potential problems, and timely adjust managerial measures and, where necessary, individual elements of the transformation itself. The fundamental difference of this approach is that data do not conclude the assessment process but initiate a new cycle of managerial actions. Therefore, the basis of adaptive management is not an individual indicator or technological tool but a closed management cycle in which information is continuously transformed into decisions, while the outcomes of those decisions become new data for further adjustment. This provides the basis for the next issue: managerial tools for responding to resistance to change.

The transition to continuous monitoring and the use of data changes not only the way resistance is identified but also the approaches to selecting managerial measures. Whereas traditional management often involved the application of a predetermined set of measures, the adaptive approach requires the managerial response to correspond to the specific situation identified through monitoring, since the same manifestation of a negative reaction may have different causes and therefore require different forms of response [8; 10].

First, it is necessary to determine the nature of the underlying cause of resistance. If employees do not sufficiently understand the essence of the changes, information provision and communication should be the primary tools. If the cause is a lack of the necessary knowledge and skills, training becomes the priority. If employees do not trust managerial decisions, greater transparency of the process and their involvement in discussion should be ensured. If resistance is associated with actual shortcomings of a new technology or solution, the possibility of modifying the decision itself should be considered.

Table 1.

Management tools for responding to identified manifestations of resistance

Identified problem	Possible managerial tool	Primary objective
Insufficient information	Communication, clarification, regular information provision	Reducing uncertainty and developing an understanding of the need for change
Distrust of the change	Open discussion, employee	Increasing trust and engagement

or management	involvement, transparent explanation of decisions	
Lack of knowledge and skills	Training, consultations, mentoring	Developing the ability to work under new conditions
Fear of job loss or loss of a professional role	Information about forthcoming changes, retraining, professional development support	Reducing the perception of threat and creating a sense of future prospects
Difficulties in using new technology	Technical support, additional training, simplification of procedures	Removing practical barriers to adaptation
Low participation in the change process	Involvement in working groups, discussion of decisions, collection of suggestions	Increasing the sense of involvement in the transformation
Well-founded criticism of the innovation	Review and adjustment of specific decisions	Addressing actual shortcomings of the transformation
Persistent and overt resistance	Individual discussions, negotiations, clarification of responsibilities and requirements	Resolving the conflict situation and ensuring the implementation of necessary changes

This approach makes it possible to move away from a simplified understanding of resistance as a phenomenon that merely needs to be "overcome." In some cases, employees' negative reactions may signal an actual problem in the way organizational change is being implemented. If employees point to shortcomings in a new system, excessive workload, or unrealistic implementation timelines, ignoring such signals may not reduce resistance but rather intensify it. Therefore, it is important to distinguish between resistance arising from an unwillingness to change an established way of working and a well-founded reaction to shortcomings in the managerial decision itself.

In this context, particular importance should be attached to involving employees in the transformation process. Participation in the development and improvement of new processes can reduce the perception that changes are being imposed while simultaneously providing management with additional information about practical implementation problems. This is particularly important for digital transformation, where employees are direct users of new technologies and can therefore identify problems that were not taken into account during their development [5; 11].

Another important area is training and competency development. A negative reaction to technological change is not always a consequence of fundamental rejection of the innovation; it may be associated with an employee's lack of confidence in their ability to work under new conditions. Requiring a rapid transition to a new system without adequate preparation may intensify resistance, whereas gradual training and practical support can transform uncertainty into readiness to use the innovation. This is particularly relevant to the implementation of AI, as research indicates a relationship between resistance and employees perceived lack of capability to use new technology [4; 9].

Communication is also an important management tool. It should be viewed not as a one-time announcement of forthcoming changes but as an ongoing two-way process that provides opportunities for feedback, questions, and discussion of problems. The

information obtained through such interaction can become part of the resistance monitoring system.

Particular attention should also be paid to the repeated assessment of the effectiveness of managerial interventions. After a particular measure has been implemented, it is necessary to determine whether the situation has changed. For example, if the use of a new system increases and the number of inquiries related to difficulties decreases after additional training has been provided, a positive outcome can be assumed. If the indicators remain unchanged, however, the assumptions concerning the cause of the problem should be reconsidered and another response should be selected. This is where the cyclical nature of adaptive management becomes evident.

Managerial response tools should not be designed as a fixed set of measures applied regardless of the specific situation. Their selection should be based on data concerning the nature of the resistance, its causes, scale, dynamics, and the outcomes of previous managerial interventions. A contemporary response system involves the successive identification of resistance signals, determination of their causes, selection and implementation of appropriate managerial measures, assessment of the results obtained, and subsequent adjustment of actions. In such a system, data perform not only a diagnostic function but also provide feedback between managerial decisions and their outcomes, thereby creating the basis for adaptive management of resistance to change.

The presence of such feedback is a necessary condition for moving to the next level, namely a digital model of resistance management. Whereas individual elements of monitoring, analysis, and response may traditionally exist separately, the digital approach involves integrating them into a unified system in which data are collected from different sources, analyzed, and used to generate signals for management, while the outcomes of managerial actions are subsequently fed back into the system as new information.

Taking into account the provisions discussed above, it is appropriate to propose a digital model of resistance to change management that integrates data on employees' reactions, analytical tools, the capabilities of artificial intelligence (AI), and adaptive managerial response. Its fundamental feature is that data are not used solely to establish the presence or absence of resistance. Instead, they serve as the basis for determining its nature, causes, and trends, forecasting the possible development of the situation, and timely adjusting managerial actions.

The proposed model is cyclical in nature and involves the successive integration of data, analytical processing, the use of artificial intelligence, managerial decision-making, adaptation of managerial interventions, and assessment of the resulting outcomes. The implementation of managerial decisions generates new information that is used for further analysis and adjustment of managerial actions. Therefore, the model does not imply a rigid sequence of actions: depending on the information obtained and changes in the situation, managerial interventions may be adjusted at different stages of

the process. This approach ensures continuous monitoring and adaptive management of resistance to organizational change.

Table 2.

Digital model of resistance to change management

Model level	Content	Main information and managerial operations	Expected result
1. Data	Formation of the information basis for management	Collection of data on employees' attitudes, behavior, participation, use of new technologies, work outcomes, inquiries, and feedback	Up-to-date information on employees' reactions
2. Analytics	Transformation of data into managerial information	Comparison of indicators, analysis of dynamics, identification of deviations, grouping of problems, and identification of relationships	Identification of trends and problem areas
3. AI	Enhanced analytics and forecasting	Identification of hidden patterns, analysis of textual information, detection of atypical changes, and forecasting of possible developments	Early identification and forecasting of resistance risks
4. Managerial decision	Determination of the appropriate response	Identification of the causes of the problem, assessment of its significance, and selection of communication, training, involvement, support, adjustment, or other measures	Selection of an appropriate form of intervention
5. Adaptation	Adjustment of managerial actions according to employees' reactions	Modification of the content, intensity, or form of managerial intervention; where necessary, adjustment of the organizational change itself	Alignment of managerial actions with the actual situation
6. Result	Assessment of the consequences of managerial intervention	Analysis of changes in attitudes, behavior, use of new solutions, and organizational outcomes	Assessment of response effectiveness and generation of new data

An important characteristic of the proposed model is the combination of data on employees' attitudes with data on their actual behavior and performance outcomes. Such a combination makes it possible to avoid a simplified understanding of resistance: a negative response in a survey does not necessarily indicate a refusal to accept change, just as formal agreement does not guarantee the actual adoption of new approaches.

AI occupies a distinct place in the proposed model. Its use expands the capacity to process large volumes of heterogeneous information and makes it possible to move from identifying existing problems to detecting early signals and forecasting the possible development of resistance, which is multidimensional and may be associated with distrust, fear, a perceived lack of competence, or doubts about the appropriateness of technologies [4]. Therefore, the analytical capabilities of AI should be used not to

automatically identify "problematic employees" but to detect trends and factors that require managerial attention.

In this context, maintaining a human-centered approach to management is fundamental. Algorithmic analysis cannot fully replace managerial decision-making because the same behavioral manifestation may have different causes. For example, reduced use of a new digital system may result from a negative attitude toward change, but it may also indicate insufficient training or technical problems. The use of algorithmic tools without considering such context may increase employees' distrust and create new forms of tension [6; 9].

Thus, the proposed digital model considers resistance management not as a separate function of employee control but as a continuous process of information support and adaptation of managerial decisions. Its value lies in integrating continuous data collection, analytical processing, and corresponding adjustment of managerial actions. The combination of these elements makes it possible to move from responding to already established resistance toward its early identification and prevention. At the same time, the model does not assume that every deviation in an indicator should be interpreted as resistance or that every AI-generated forecast should automatically trigger managerial intervention. Its purpose is to improve the timeliness, soundness, and adaptability of managerial decisions, with digital tools serving as a means of supporting management rather than replacing managerial responsibility.

At the same time, the practical implementation of the proposed model is associated with a number of limitations and risks. The increasing volume of data, expansion of digital monitoring, and application of AI may not only affect the accuracy of managerial decisions but may themselves become sources of resistance to organizational change. Therefore, an effective digital management system should include not only mechanisms for collecting and analyzing information but also clear principles and limitations governing its use.

One of the fundamental limitations concerns data quality and completeness. Any analytical system depends on the information it receives, while data may be incomplete, outdated, or unrepresentative. For example, if employees are reluctant to participate in surveys or provide socially desirable responses, the resulting information will not fully reflect their actual attitudes toward change.

The misinterpretation of employees' behavior represents another significant challenge. The same behavioral manifestation may have different causes. A decline in productivity may result from resistance to a new process, but it may also be explained by insufficient training, technical problems, or excessive workload. Automatically equating particular behavior with resistance may therefore lead to incorrect managerial conclusions.

This limitation becomes particularly important when AI is used. An algorithm may identify a statistical relationship between certain indicators and the subsequent development of a problem, but such a relationship does not necessarily indicate a causal relationship. Moreover, the results generated by an algorithm depend on the quality of the data used to train it. Consequently, algorithmic errors, false signals, or

inaccurate forecasts may occur, which is particularly concerning given the risk of creating new conflicts as a result of opaque algorithmic monitoring [6].

The issues of confidentiality, personal data protection, and the ethics of monitoring are equally important. Digital monitoring may involve the use of information concerning participation in training, use of digital systems, work performance, and communication. Therefore, the use of such data should be limited to clearly defined managerial purposes and comply with applicable legal requirements. Employees should understand what data are collected, for what purposes, and who has access to them. There is a fundamental difference between a system that collects aggregated information to identify problems in the transformation process and a system that continuously tracks individual employees for the purpose of controlling their behavior. In the first case, digital tools support organizational change; in the second, they may become instruments of excessive control that undermine trust in the organization and digital technologies. If employees perceive the data collection system as a mechanism for punishment or covert control, this may lead to information concealment and increased distrust. In other words, a system intended to help identify resistance may itself become a source of resistance [3; 4].

Therefore, digital monitoring should be based on the principles of transparency, proportionality, purpose limitation, and minimization of information that is not necessary for managing change. It is advisable to distinguish between data required to assess the state of organizational transformation and data that may be used to evaluate individual employees. In many cases, aggregated information at the level of departments, employee groups, or stages of change is sufficient for managerial decision-making. The main risks and corresponding mitigation principles are summarized in Table 3.

Table 3.

Main risks associated with the use of data and AI in resistance management

Risk	**Potential consequence**	**Approach to mitigation**
Incomplete or poor-quality data	Incorrect conclusions about the state of resistance	Data quality verification and the use of multiple information sources
Misinterpretation of employee behavior	Incorrect identification of the causes of resistance	Contextual analysis and combination of quantitative and qualitative data
Algorithmic errors	False signals, inaccurate forecasts, and distorted assessments of particular groups	Human verification of AI-generated results and regular data quality control
Breach of confidentiality and improper use of personal data	Loss of employee trust, legal and reputational risks	Restriction of access, clear rules for data use, and compliance with personal data protection requirements
Opaque monitoring and excessive control	Distrust of the system, concealment of problems, and increased tension	Informing employees about the purpose of monitoring and using data only for necessary management purposes
Excessive automation of decision-making	Incorrect managerial actions	Mandatory human oversight and professional interpretation

The fundamental principle governing the use of AI in the proposed model should be that **AI supports managerial decision-making but does not replace managerial responsibility**. An algorithm can identify changes in indicators, detect atypical behavior, or generate a forecast; however, the final decision should be made taking into account the organizational context, the causes of employees' behavior, and the potential consequences of managerial intervention, since human responses to change cannot be reduced to a set of quantitative indicators.

Therefore, the digitalization of resistance management should not be viewed as a replacement of traditional managerial mechanisms with algorithmic systems but as an expansion of management's information capabilities. Data make it possible to gain a better understanding of the change process, analytical tools help identify trends, and AI can detect complex relationships and forecast possible scenarios, while responsibility for interpreting the results and selecting the appropriate response remains with management.

A logical conclusion to the proposed approach is to determine the extent to which adaptive management based on data and AI produces the desired outcomes. The mere establishment of a monitoring system or the use of AI does not demonstrate its effectiveness. Evaluation should determine whether such a system enables problems to be identified earlier, their causes to be determined more accurately, responses to be better aligned with the situation, and organizational change to produce improved outcomes.

It is also important not to equate the effectiveness of resistance management solely with reducing resistance: the complete elimination of employees' negative reactions is not always a desirable outcome, as some critical comments may be constructive and may point to shortcomings in the proposed change. Therefore, the effectiveness of adaptive management should be determined by the organization's ability to identify employees' reactions in a timely manner, interpret them correctly, respond to well-founded problems, and ensure the acceptance and effectiveness of organizational changes. In this regard, the evaluation system should be structured around several interrelated areas.

Table 4.

System for evaluating the effectiveness of adaptive management of resistance to change

Evaluation area	Key indicators	What it characterizes
Timeliness of detection	Time from the emergence of a signal to its detection; share of problems identified before escalation	The system's ability to respond to early signals
Accuracy of assessment	Correspondence between the forecast and the actual situation; share of false signals	The quality of analytics and forecasting
Quality of managerial response	Correspondence between the measure and the cause of the problem; speed of adjusting actions	The extent to which management responds appropriately to identified resistance
Acceptance of change	Level of readiness to support change; use of new processes and technologies	Actual acceptance of organizational transformation
Behavioral adaptation	Participation in training; use of new tools; compliance with new processes	Transition from formal agreement to actual behavioral change

Organizational outcomes	Productivity, number of errors, delays, employee turnover, achievement of transformation objectives	The impact of resistance management on organizational outcomes
Trust and perception of the system	Trust in management, digital tools, and the monitoring process	The social acceptability of digital management
Management adaptability	Number and speed of adjustments to managerial actions in response to new data	The system's ability to learn and change its approach

Dynamic evaluation is particularly important because the adaptive model involves continuous adjustment of managerial actions. Therefore, it is necessary to compare not only the state before and after the implementation of a change but also the sequence of changes in indicators throughout the entire process. This makes it possible to determine whether the managerial intervention actually resulted in a positive change.

It is also advisable to assess the effectiveness of individual managerial measures. For example, if additional training was provided after a problem was identified, it is necessary to assess whether employees' behavior changed following the intervention. If intensified communication does not improve perceptions of the change, this should serve as a signal to modify the managerial approach. Thus, evaluation becomes not a final procedure but an integral component of the adaptive cycle.

Conclusions. The effectiveness of the proposed system can be conceptualized as the interrelationship of four outcomes: timeliness of detection, quality of managerial decision-making, effectiveness of adaptation, and organizational impact. At the same time, it is important to consider the balance between the positive outcomes of digital monitoring and the costs associated with its implementation, including financial resources, employees' time, technical infrastructure, staff training, and data protection. Therefore, an effective system should not be understood as one that collects the maximum amount of information, but rather as one that obtains sufficient information for decision-making at acceptable costs and risks.

In conclusion, the effectiveness of adaptive management of resistance to change should be assessed not by a single indicator but by a set of criteria covering the informational, analytical, managerial, behavioral, and organizational dimensions. This approach makes it possible to assess not only whether resistance has decreased but also the extent to which the management system has become capable of timely identifying changes in employees' reactions, interpreting them correctly, and appropriately adjusting managerial actions.

References.

1. Hrynko, T. V., & Kasian, S. V. (2025). Theoretical and methodological aspects of forming a mechanism for managing strategic changes under the digitalization of the economic space. *Economics and Society*, (82). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-120

2. Diefenhardt, F., Rapp, M. L., Bader, V., & Mayrhofer, W. (2024). "In God We Trust. All Others Must Bring Data": Unpacking the influence of human resource

analytics on the strategic recognition of human resource management. *Human Resource Management Journal*. https://doi.org/10.1111/1748-8583.12583

3. Cieslak, V., & Valor, C. (2025). Moving beyond conventional resistance and resistors: An integrative review of employee resistance to digital transformation. *Cogent Business & Management, 12*(1), Article 2442550. https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2442550

4. Golgeci, I., Ritala, P., Arslan, A., McKenna, B., & Ali, I. (2025). Confronting and alleviating AI resistance in the workplace: An integrative review and a process framework. *Human Resource Management Review, 35*(2), Article 101075. https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2024.101075

5. Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes Marante, C. (2021). A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of Management Studies, 58*(5), 1159–1197. https://doi.org/10.1111/joms.12639

6. Kellogg, K. C., Valentine, M. A., & Christin, A. (2020). Algorithms at work: The new contested terrain of control. *Academy of Management Annals, 14*(1), 366–410. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0174

7. Prib, K. A., & Dunai, V. I. (2021). Factors influencing the formation of employee resistance to organizational change. *Economics and Society*, (24). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-24-48

8. Scholkmann, A. B. (2021). Resistance to (digital) change: Individual, systemic and learning-related perspectives. In D. Ifenthaler, S. Hofhues, M. Egloffstein, & C. Helbig (Eds.), *Digital Transformation of Learning Organizations* (pp. 219–236). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55878-9_13

9. Stieglitz, S., Möllmann, N. R. J., Mirbabaie, M., Hofeditz, L., & Ross, B. (2023). Recommendations for managing AI-driven change processes: When expectations meet reality. *International Journal of Management Practice, 16*(4), 407–433. https://doi.org/10.1504/IJMP.2023.132074

10. Shulzhyk, Yu. O., Hrytsko, R. Yu., & Pekanets, S. R. (2022). Change management under digitalization. *Scientific Works of the Interregional Academy of Personnel Management. Economic Sciences*, (3(66)). https://doi.org/10.32689/2523-4536/66-18

11. Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research, 122*, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

12. Wittig, C. (2023). Revisiting resistance to change and how to manage it: What has been learned and what organizations need to do. *Business Horizons, 66*(4), 433–441. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2022.09.001

1.8. Transformation of Marketplace Assortment Policy and its Impact on the Managerial Decision-Making System in E-Commerce

ТРАНСФОРМАЦІЯ АСОРТИМЕНТНОЇ ПОЛІТИКИ МАРКЕТПЛЕЙСІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА СИСТЕМУ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОМЕРЦІЇ

Стрімкий розвиток цифрової економіки і електронної комерції зокрема, фундаментально змінює підходи до управління асортиментом у торгівлі. Маркетплейси як специфічне середовище ведення бізнесу суттєво відрізняються від класичної фізичної торгівлі та автономних інтернет-магазинів. Вони об'єднують на спільному цифровому майданчику велику кількість незалежних продавців, створюючи середовище з дуже високою концентрацією аналогічних товарних пропозицій та жорсткою конкуренцією.

Традиційні методи формування та управління асортиментною матрицею, орієнтовані на контроль товарного запасу і категорійний менеджмент, в умовах ускладнення цифрових екосистем втрачають свою ефективність. Виникають нові детермінанти впливу на асортиментну політику маркетплейсів, що створюють високу невизначеність для суб’єктів торгівлі. Посилюється динаміка трансформації алгоритмів ранжування товарів, скорочується життєвий цикл асортиментних позицій, посилюються вимоги до екологічності та зростає роль штучного інтелекту [1]. Відповідно, це викликає протиріччя між необхідністю швидкої адаптації товарної пропозиції до вимог алгоритмів та відсутністю цілісної системи управлінських рішень, яка б забезпечувала конкурентоспроможність бізнесу в новому цифровому середовищі.

Метою дослідження є теоретичне узагальнення та розробка практичних рекомендацій щодо трансформації асортиментної політики підприємств на цифрових платформах в умовах динамічного цифрового розвитку торгівлі, що зумовлює виконання наступних завдань:

— систематизувати та класифікувати фактори впливу на асортиментну матрицю маркетплейсу;

— провести порівняльний аналіз середовищ формування асортиментної політики (фізична торгівля, автономний інтернет-магазин, маркетплейс);

— ідентифікувати ключові цифрові детермінанти розвитку електронної комерції та визначити їхній вплив на структуру асортиментної матриці, ротацію та допуск окремих асортиментних позицій;

— побудувати структурно-логічну схему взаємозв'язків між асортиментними змінами та системою стратегічних і операційних управлінських рішень керівництва маркетплейсу в умовах швидкого розвитку електронної комерції.

Формування асортиментної політики підприємства в умовах маркетплейсу є багаторівневим процесом, який підпорядковується дії як загальноекономічних чинників торговельної діяльності, так і специфічних інструментів управління продажами. Для систематизації існуючих закономірностей доцільно застосувати

подвійну класифікацію існуючих факторів, яка подана в таблиці 1, де представлений поділ даних факторів за локалізацією джерела впливу та за специфікою торговельного середовища, в якому вони проявляються.

Таблиця 1

Класифікація факторів впливу на асортиментну політику маркетплейсу

Критерій класифікації	Група факторів	Перелік факторів впливу	Механізм впливу на асортиментну пропозицію
Локалізація джерела впливу	Внутрішні	Стратегія розвитку, фінансовий потенціал, логістичні ресурси, IT-інфраструктура	Задають межі розширення товарних категорій, спроможність заморожувати капітал у запасах та точність алгоритмів рекомендацій
	Зовнішні	Динаміка попиту споживачів, нормативне регулювання, конкуренція між продавцями	Обмежують юридичні рамки обігу товарів, формують ціновий коридор та диктують необхідність ротації неходових товарних позицій
Специфіка середовища	Традиційні	Маржинальність та оборотність товарів, фізичні характеристики, сезонність	Визначають економічну доцільність присутності товарної позиції в матриці та прямі операційні витрати на її обробку
	Специфічні	Алгоритми видимості, мережеві ефекти, моделі фулфілменту, комісійна політика	Регулюють глибину асортименту через залучення 3P-продавців, генерують дохід з нішевого асортименту (ефект «довгого хвоста») та керують фокусом уваги покупця

Джерело: розроблено автором на основі [1]

Внутрішні фактори визначаються внутрішнім середовищем суб'єкта господарювання та є повністю підконтрольними або регульованими. До них належать стратегічні цілі (захоплення частки ринку, максимізація прибутку чи залучення трафіку), фінансові можливості, обрана бізнес-модель (1P - власні продажі чи 3P - залучення інших продавців), наявна логістична інфраструктура та технологічна готовність екосистеми до тестування товарних пропозицій (A/B тестування карток, експериментальні запуски нових товарних одиниць).

Зовнішні фактори формуються зовнішнім оточенням і вимагають від підприємства ефективної адаптації. Вони охоплюють платоспроможний попит споживачів, рівень конкуренції як всередині платформи, так і між платформами, макроекономічні коливання, а також нормативно-правові обмеження з боку держави щодо обігу окремих груп товарів.

Традиційні фактори притаманні всім форматам торговельної діяльності. Вони включають цінову еластичність попиту, оборотність товарних запасів, маржинальність категорій, вимоги до зберігання і транспортування, а також сезонні коливання купівельної активності.

Певні специфічні фактори притаманні виключно підприємствам у сфері електронної комерції. До них належать мережеві ефекти, особливості алгоритмів ранжування та видимості товарів у видачі, логістичних функцій між платформою

та продавцем за моделями фулфілменту (FBO/FBS/DBS), шкала комісійних ставок платформи та правила модерації категорій [2,3].

Запропонована систематизація демонструє, що в умовах маркетплейсу традиційні економічні фактори визначають доцільність присутності товару в асортиментному переліку, тоді як специфічні платформні фактори безпосередньо регулюють його видимість для покупців і рівень продажів.

Специфічні фактори впливу зумовлені суттю цифрових платформ, де замість прямої закупівлі товарів асортимент регулюється алгоритмічно — через пропозиції багатьох незалежних продавців. Серед множини існуючих специфічних факторів можна виділити окремі їх групи за особливостями впливу на формування товарної пропозиції маркетплейсу.

Група специфічних технологічних факторів визначає спроможність платформи автоматично керувати асортиментом на основі поведінки користувачів [4]. Вона об'єднує:

— алгоритми ранжування та персоналізованих рекомендацій, що формують унікальну асортиментну пропозицію для кожного покупця на основі даних його поведінкового профілю. Це реалізує феномен «довгого хвоста», дозволяючи маркетплейсу отримувати прибуток від рідкісних і нішевих товарів, зберігаючи зручність для користувачів;

— динамічне ціноутворення та A/B тестування, під час яких алгоритми автоматичного коригування цін адаптують пропозиції під поточний попит і дії конкурентів, а інструменти A/B тестування дозволяють продавцям експериментувати з позиціонуванням нових товарних позицій без фінансових ризиків для самої платформи;

— аналіз великих даних щодо незадоволеного попиту, що передбачає системний аналіз пошукових запитів для виявлення прогалин в асортиментній матриці маркетплейсу та цільового залучення продавців під конкретні товарні ніші.

Група специфічних економічних факторів відображає бізнес-модель маркетплейсу та економічні важелі впливу на пропозицію [5]. До них належать:

— двосторонні мережеві ефекти, які полягають у тому, що збільшення кількості продавців збільшує глибину та різноманітність асортименту, що залучає додаткових покупців і, як наслідок, стимулює новий приплив продавців;

— гібридність бізнес-моделі (1P/3P) – балансування між власними продажами (First-Party) та продажами сторонніх продавців (Third-Party). Модель 1P застосовується для контролю високооборотних і стратегічних категорій, тоді як модель 3P забезпечує різноманітність нішевих товарів;

— диференційована комісійна політика, що передбачає регулювання розміру комісії платформи: знижена комісія стимулює продавців заходити в дефіцитні категорії, а підвищена комісія стримує надлишкову пропозицію у заповнених товарних категоріях.

Група специфічних операційних факторів задає оперативні та нормативні обмеження розширення асортименту [6]. Сюди входять:

— моделі фулфілменту (FBO/FBS/DBS) та дропшипінгу як способи зберігання та доставки, визначають допустимі фізичні межі асортименту, враховуючи габарити й оборотність товарів. Модель FBO (Fulfillment by Operator — склад маркетплейсу) орієнтована на високооборотні, стандартизовані та компактні товари. Модель FBS (Fulfillment by Seller — склад продавця, доставка платформи) дозволяє розширювати каталог великогабаритними та нішевими позиціями. Модель DBS (Delivery by Seller — доставка силами продавця) передбачає, що продавець повністю контролює як зберігання, так і фінальну доставку покупцеві (власною службою або сторонніми кур'єрами). Дропшипінг (Dropshipping — пряме постачання від виробника) дозволяє будувати потенційно нескінченний каталог без закупівлі товарного запасу та без використання власних складів;

— інструменти модерації, використання яких забезпечує автоматичний контроль контрафакту, дублікатів та сертифікатів, захищає асортиментну матрицю від неякісних позицій та формує високий рівень довіри до платформи.

Систематизація досліджених факторів демонструє перехід від традиційного формування товарної матриці до її алгоритмічного саморегулювання. Поєднання технологічних інструментів, економічних важелів та операційних моделей дозволяє маркетплейсу безперервно адаптувати товарну матрицю до попиту, уникаючи прямих витрат на закупівлю й зберігання товарів.

Для глибшого розуміння специфіки комерції на основі цифрових платформ проведене дослідження особливостей формування асортиментної політики у різних бізнес-середовищах шляхом порівняння маркетплейсів з двома класичними бізнес-моделями: традиційною фізичною торгівлею та автономним інтернет-магазином [7,8]. Ключові критерії оцінювання систематизовано в таблиці 2.

Результати порівняльного аналізу свідчать про те, що зміна середовища функціонування фундаментально трансформує сутність та інструментарій асортиментної політики підприємства. На основі систематизації досліджених даних виділено наступні напрями змін:

— трансформація витрат та логістики - у фізичних магазинах та власних інтернет-магазинах (1P-модель) розширення асортименту вимагає заморожування власних коштів у товарних запасах. Це створює жорсткі фінансові та складські обмеження. Натомість маркетплейси (3P-модель) завдяки сервісам FBO, FBS та дропшипінгу можуть безкінечно розширювати каталог без ризику накопичити неліквідний товар на складі;

— перехід до алгоритмічного управління – традиційна торгівля, як і торгівля через інтернет-магазин передбачає, що викладка та формування переліку товарів здійснюються категорійним менеджером. На маркетплейсі позицію товару в каталозі повністю визначають алгоритми штучного інтелекту, які автоматично піднімають або опускають товар, враховуючи показники клікабельності (CTR), конверсії (CR), рейтингів та швидкості доставки. Завдяки цьому асортиментна пропозиція маркетплейсу є гнучкою та динамічною;

— цінова прозорість та швидкість адаптації - у традиційному магазині покупцеві важко швидко порівняти ціни, що дозволяє продавцям тримати стабільну націнку. На маркетплейсі пропозиції багатьох продавців зібрані поруч, що змушує відмовлятися від фіксованих цін на користь динамічних алгоритмів і A/B-тестування пропозицій та реагувати на попит в режимі реального часу;

— залежність від платформи та ризики - з одного боку, маркетплейс забезпечує продавця готовими покупцями, логістикою та прийомом платежів. Але при цьому бізнес втрачає автономію: продажі залежать від правил платформи, розміру комісій та алгоритмів пошуку, на які продавець не може прямо вплинути. Таким чином, компроміс маркетплейсів полягає у виборі між низьким порогом входу та незалежністю продавців.

Таким чином, можна стверджувати, що формування асортиментної політики на маркетплейсах є якісно новим етапом еволюції ритейлу, який характеризується переходом від традиційного управління фізичним товарним запасом до управління цифровою видимістю та показниками конверсії.

У перспективі найближчих років маркетплейси як середовище формування асортиментної політики зазнаватимуть суттєвих змін під впливом технологічних інновацій, змін у споживчій поведінці та посилення регуляторних вимог.

За даними аналітичних агентств станом на 2026 рік у світі налічувалося 2,86 мільярда покупців онлайн. Це означає, що 33% населення світу здійснює покупки онлайн. Це на 3,3% більше, ніж у попередньому році. До кінця 2026 року кількість онлайн-покупців перевищить 3 мільярди, що відображає бум електронної комерції завдяки зростанню проникнення інтернету та зручності його використання [9].

Таблиця 2

Порівняльна матриця середовищ формування асортиментної політики

Критерій оцінювання середовища	Традиційна фізична торгівля	Власний інтернет-магазин	Маркетплейс
Структура ринку та конкуренція	Локально обмежений ринок із внутрішньою конкуренцією	Мережа ізольованих сайтів, які змагаються за зовнішній цільовий трафік	Єдиний агрегований майданчик із високою концентрацією однотипних продавців
Володіння запасом та логістика	Локалізована 1P-модель: володіння запасом і його фізичне розміщення в торгових залах і на складах	Централізована 1P-модель: іммобілізація капіталу в закупівлі товарів на складах із доставкою	Децентралізована 3P - модель: мінімізація ризиків неліквіду через комбінування сервісів FBO/FBS/DBS та дропшипінгу
Межі та масштабування асортименту	Фізичні та фінансові обмеження	Фінансові обмеження	Потенційно нескінченна пропозиція за рахунок ефекту «довгого хвоста» та 3P-продавців
Управління видимістю товарів	Використання фізичного мерчандайзингу (планограми, ручна	Ручне налаштування віртуальної вітрини: структури каталогу, фільтрів та рекламних	Алгоритмічне ранжування товарів за допомогою штучного інтелекту

	викладка та ін.)	блоків	
Гнучкість та тестування товарних одиниць	Тривалий час на введення/виведення нових позицій та висока вартість помилки	Оперативне оновлення каталогу та ручне тестування елементів віртуальної вітрини (фото, описи, ціни)	Безперервна адаптація шляхом A/B-тестування пропозицій та реагування на попит в режимі реального часу
Ціноутворення та цінова прозорість	Фіксована маржа; обмежені можливості покупця порівняння цін у режимі реального часу	Гнучке формування цін; проведення маркетингових акцій та оперативне реагування на зміни ринку	Динамічне ціноутворення; миттєве порівняння пропозицій багатьох продавців на одній сторінці
Персоналізація купівельного досвіду	Стаціонарна асортиментна пропозиція для всіх відвідувачів	Базове таргетування товарного асортименту на основі історії переглядів і покупок	Персоналізація каталогу на основі поведінкового профілю покупця та аналізу великих даних
Залежність від факторів середовища	Залежність від фізичної локації (трафіку) та ефективності роботи персоналу	Автономія у формуванні комерційних правил, інтерфейсу, сервісних стандартів та каналів комунікації	Зовнішня залежність від правил платформи, алгоритмів видачі та змін умов співпраці
Інвестиційний бар'єр і ризики	Висока капіталоємність: витрати на оренду, обладнання та товарний запас	Середня капіталоємність: витрати на розробку сайту, закупівлю товару та залучення трафіку	Мінімальні ризики: розширення каталогу через готову інфраструктуру та сервіси платформи

Джерело: розроблено автором на основі [7,8]

Світові продажі в електронній комерції досягнули орієнтовно 6,4 трильйона доларів США у 2025 році , що становить 20–21% усіх роздрібних покупок. Очікується, що ця частка зросте приблизно до 22–23% до 2028 року [10]. Ці дані свідчать про значні перспективи розвитку електронної комерції та зокрема маркетплейсів в наступні роки, як вагомого каналу збуту продукції.

Динамічний розвиток електронної комерції змінює підходи до управління асортиментом маркетплейсів. Традиційні планові методи формування товарних каталогів замінюються гнучкими алгоритмічними моделями на основі аналізу даних та штучного інтелекту. Дослідження глобального ринку дає змогу виділити ключові тенденції, які найближчим часом будуть визначати майбутнє цифрової торгівлі та асортиментної політики платформ [11].

Значні зміни у поведінці споживачів пов'язані із становленням та розвитком агентної комерції . Спостерігається поступовий перехід покупців від ручного пошуку товарів та їхнього порівняння до делегування цих функцій автономним ШІ-агентам, яким делегують аналіз ринку, порівняння характеристик і виконання покупок за заданими критеріями. Формування асортименту орієнтується не на візуальне сприйняття людиною, а на вимоги алгоритмів. Класична пошукова оптимізація SEO (Search Engine Optimization) поступається місцем оптимізації AIO (AI Optimization) — чіткому структуруванню технічних даних, щоб ШІ-агент гарантовано вибрав бажаний товар.

Відбувається поступовий перехід від статичного планування закупівель до управління постачанням під підтверджений попит у режимі реального часу. Поєднання децентралізованих складських мереж (FBO/FBS) та дропшипінгу дозволяє бізнесу без ризику виводити на ринок нові товарні категорії. Моделі гнучкого виробництва дають змогу випускати мінімальні тестові партії товарів, розширюючи асортиментну пропозицію без заморожування власних коштів у складському неліквіді.

Важливим чинником розширення асортименту онлайн-торгівлі стає імерсивна комерція та застосування AR/VR-технологій (технології доповненої та віртуальної реальності). Впровадження віртуальних примірочних, інтерактивних 3D-моделей та візуалізації товарів у реальному інтер'єрі покупця стає новим стандартом електронних продажів. Можливість детально оцінити вигляд та габарити продукції перед покупкою суттєво підвищує конверсію та знижує частку повернень. Завдяки цьому маркетплейси отримують змогу активно залучати до онлайн-асортименту дорогі, великогабаритні та технічно складні товари, реалізація яких раніше відбувалася переважно в офлайн-сегменті.

Значний вплив на швидкість оновлення асортиментної пропозиції маркетплейсу має соціальна комерція. Формування асортиментної матриці все частіше відбувається під впливом вірусних трендів, Live-стримів та рекомендацій у соціальних мережах (TikTok, Instagram, YouTube). Товари потрапляють у каталог не в результаті тривалого планування, а як реакція на спонтанні сплески попиту. Інтеграція покупок безпосередньо у відеоконтент перетворює соціальні мережі на ефективний майданчик для швидкого тестування та збуту нових товарних позицій.

Паралельно посилюються вимоги до екологічності та прозорості ланцюгів постачання. Посилення міжнародних нормативних вимог (зокрема Європейського акту про екодизайн, директив щодо сталості постачання, норм GDPR та ISO) змушує маркетплейси очищати асортимент від дешевого несертифікованого контрафакту. Впровадження блокчейн-технологій дозволяє формувати «цифрові паспорти товарів», де зафіксовано походження продукції та її екологічний слід. Це робить повну прозорість ланцюга постачання обов'язковою умовою допуску продавців до каталогу платформи.

Економічна модель платформ змінюється через розгортання внутрішньоплатформної реклами. Маркетплейси перетворюються на медіаплатформи, які торгують власними даними про поведінку та покупки користувачів. Це змушує продавців виділяти окремий бюджет на внутрішнє просування їх товарів, оскільки реальна видимість асортиментної позиції у каталозі безпосередньо залежить від рекламних ставок та алгоритмічного просування всередині платформи.

Разом із великими універсальними платформами стрімко розвиваються спеціалізовані майданчики. Зростає частка нішевих (вертикальних) платформ, розрахованих під специфічні потреби окремих галузей (фармацевтика, промислове обладнання, автокомпоненти). У B2B-сегменті асортиментна політика

підпорядковується складним корпоративним процедурам, таким як кредитування, автоматизовані тендери, погодження кошторисів та динамічне обчислення об'ємних знижок, що зумовлює специфіку функціонування спеціалізованих маркетплейсів.

Потреба в економії та збереженні ресурсів зумовила зростання циркулярної комерції. Маркетплейси активно додають до каталогу товари повторного споживання: уживані речі, відновлену техніку, стокові позиції та використовують програми обміну з доплатою. Це залучає покупців, які шукають екологічні рішення або нижчі ціни, і дозволяє платформі повторно заробляти на одному й тому ж товарі, утримуючи його всередині однієї платформи.

Ще одним напрямом розвитку цифрових платформ є гіперлокальна експрес-комерція. Вона спирається на розгортання мереж мікрофулфілмент-центрів (дарксторів) та застосування прогнозної аналітики для оцінки попиту та формування асортименту на рівні окремих мікрорайонів [12]. Це забезпечує надшвидку доставку (за 15–60 хвилин) найбільш затребуваних товарів повсякденного попиту без надмірного зростання логістичних витрат.

Описані тенденції свідчать про перехід електронної комерції від статичного продажу товарів до створення адаптивних, високотехнологічних екосистем. Усі ці чинники в сукупності визначають конкурентоспроможність цифрової платформи та формують фундамент для її довгострокового розвитку в умовах трансформації глобального ринку.

Зазначені майбутні тренди фундаментально змінюють асортиментну політику маркетплейсів, впливаючи на зміну підходів до формування товарних каталогів, прогнозування попиту та управління логістикою продажів.

Вплив цих змін на асортиментну політику проявляється наступним чином:

— поляризація структури та глибини асортиментної матриці;

— прискорення ротації та скорочення життєвого циклу асортиментних позицій;

— зміна критеріїв допуску та фільтрації товарів;

— підпорядкування асортименту алгоритмам видимості;

— сегментація та мультиформатність товарних пропозицій.

Формування асортименту на цифрових платформах відбувається під впливом двох протилежних тенденцій: з одного боку - розширення глобального каталогу без ризику затоварення складів завдяки децентралізованій логістиці, дропшипінгу та залученню відновлених товарів, з іншого - стиснення локальних каталогів на рівні мікрофулфілмент-центрів (даркторів), в якому асортиментна матриця скорочується до 1000–3000 товарних позицій, які підбираються штучним інтелектом під попит конкретного мікрорайону. Це призводить до поляризації структури та глибини асортиментної матриці залежно від формату торгівлі та локалізації споживчого попиту.

Важливим наслідком впливу досліджених тенденцій розвитку цифрових платформ є скорочення життєвого циклу асортиментних позицій та прискорення їх ротації в асортиментній матриці. Це відбувається завдяки

переходу від традиційного сезонного планування до алгоритмічних методів, які дають змогу враховувати короткострокові сплески попиту в соціальних мережах і постійно тестувати нові товарні позиції без ризику фінансових втрат для платформи.

Ще одним важливим наслідком прогнозованих змін стає трансформація критеріїв допуску та фільтрації товарів у каталогах цифрових платформ. Товари категорії попереднього вибору, такі як одяг, меблі та косметика без інтерактивної візуалізації (3D-моделей чи AR-примірки) втрачають конкурентні переваги і поступово витісняються з каталогу. В той же час

вхідний бар'єр потрапляння товарів у каталог підвищується шляхом відсіювання контрафакту та обов'язкової наявності прозорого ланцюга постачань (підтвердженого блокчейном) та відповідності екологічним регламентам.

Перехід до використання ШІ-агентів впливає на зміну структури картки товару та її специфікацію. Товари з нестандартизованим описом стають невидимими для алгоритмів AIO. Крім того, на видимість товару у каталозі впливає його здатність генерувати рекламний дохід для платформи. Тому низькомаржинальні товари навіть з високим оборотом витісняються на другорядні позиції в каталозі.

Тенденції зростання циркулярної комерції зумовлюють розширення форматів товарних пропозицій (новий/відновлений/вживаний та інше), що дозволяє маркетплейсу охопити покупців із різною купівельною спроможністю. Разом з тим спеціалізовані B2B-маркетплейси відмовляються від поштучних роздрібних товарів на користь комплексних рішень - оптових партій із сервісним обслуговуванням, відтермінуванням платежів і кастомізацією під специфічні потреби клієнта.

Таким чином, майбутня асортиментна політика маркетплейсу трансформується з процесу формування каталогу товарів у процес безперервної алгоритмічної модерації каталогу, де видимість, ціна та присутність кожної асортиментної позиції коригуються машинними алгоритмами в режимі реального часу.

Проведені дослідження напрямів трансформації розвитку цифрових платформ в найближчій перспективі та прогнозованих змін асортиментної політики під впливом цих факторів дозволяють визначити їх вплив на систему управлінських рішень, які повинні відобразити зміни в асортиментній політиці, що виражаються в корекції відповідних стратегічних та операційних дій керівництвом маркетплейсів та продавцями на платформі.

Результати дослідження перспективних напрямів розвитку цифрових платформ та прогнозованих трансформацій асортиментної політики дають змогу сформулювати комплекс стратегічних та операційних рішень для керівництва маркетплейсів і продавців, які дозволять ефективно адаптувати формування асортименту платформи до нових реалій та вимог розвитку цифрової економіки.

На рис. 1 представлена схема, яка ілюструє причинно-наслідкові зв'язки між цифровою трансформацією маркетплейсів, змінами в асортиментній матриці та системою управлінських дій. Схема має ієрархічну структуру й охоплює три рівні:

— детермінанти розвитку маркетплейсів - фактори, що формують нове цифрове середовище;

— трансформація асортименту - напрями адаптації товарного каталогу під дією детермінантів;

— управлінські рішення керівництва - результуючі стратегічні й операційні дії керівництва маркетплейсів та продавців, необхідні для адаптації до нових умов.

Трансформація асортиментної політики під впливом розвитку цифрового середовища змінює механізм прийняття управлінських рішень керівництвом маркетплейсу. Це охоплює комплекс змін у логістичній, фінансовій, інвестиційній, маркетинговій та закупівельній сферах управління.

Логістичні управлінські рішення на маркетплейсах формуються з урахуванням прогнозованого попиту, специфіки моделей фулфілменту та необхідності мінімізації операційних витрат на зберігання і доставку товарів. Сучасні цифрові тренди зміщують орієнтацію цих рішень у бік прогнозної логістики на основі ШІ-моделей та моделей експрес-комерції, що передбачає децентралізацію складів та алгоритмічний розподіл товарів між регіональними складами для підтримки високої ефективності асортименту.

Фінансові рішення в управлінні асортиментом спрямовані на вивільнення оборотного капіталу завдяки безризиковому тестуванню товарів, що запобігає заморожуванню коштів у складських запасах [12]. Управлінці приймають рішення щодо реінвестування вивільненого капіталу з операційних складських витрат у розробку алгоритмічного забезпечення, розширення партнерської мережі та залучення цільового трафіку. Разом з тим, швидке скорочення життєвого циклу SKU вимагає впровадження жорсткіших фінансових резервів під можливий неліквід та уцінку товарів, що не пройшли етап автоматизованого A/B-тестування.

Інвестиційні рішення щодо асортиментної політики цифрових платформ фокусуються на двох ключових напрямах. Перший передбачає перерозподіл капіталу із зовнішніх каналів у внутрішню рекламу маркетплейсів та адаптацію товарних атрибутів під алгоритми ШІ (AIO). Другим напрямом є розвиток AR/VR-візуалізації та 3D-моделювання, що вимагає витрат на спеціалізоване ПЗ й цифрову інфраструктуру, але в той же час виступає вирішальним чинником зниження рівня повернень товарів.

Зміна критеріїв допуску товарів до каталогу маркетплейсу диктує зміни у політиці відбору продавців платформи. Управлінські рішення щодо включення постачальника до асортиментної матриці ухвалюються на основі наявності екологічних сертифікатів, прозорості ланцюга постачання та готовності надавати дані для блокчейн-паспортів продукції. У сегменті B2B закупівельні рішення орієнтуються на автоматизацію запитів пропозицій, підключення рішень із

відтермінування платежів та розрахунку об'ємних знижок залежно від обсягу партії.



Рис.1. Структурно-логічна схема зв’язків між цифровою трансформацією маркетплейсів, асортиментними змінами та системою управлінських рішень

Джерело: розроблено автором

Висока конкуренція на цифрових платформах вимагає відмови від ручного встановлення цін. Управлінські рішення зміщуються в бік алгоритмічних систем, які коригують вартість асортиментних позицій в режимі реального часу з урахуванням попиту, цін конкурентів та залишків товарів на складі. Специфічним аспектом є адаптація до вірусного попиту, коли трендові товари залучаються до акцій або виводяться з них протягом кількох годин на основі аналізу соціальних мереж (TikTok, Live-стріми), що вимагає гнучкого оперативного коригування рекламних ставок і пріоритетів видачі.

Підсумовуючи результати проведеного дослідження, можна стверджувати, що формування асортиментної політики маркетплейсів є якісно новим етапом еволюції роздрібної торгівлі. Відбувається фундаментальний перехід від

класичного управління фізичним товарним запасом і ручного категорійного менеджменту до алгоритмічного саморегулювання, де вирішальними факторами стають цифрова видимість продукції, конверсія та оптимізація даних за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Доведено, що в умовах цифрових платформ діє подвійна система чинників: традиційні економічні фактори (маржинальність, оборотність) визначають доцільність присутності товару в асортиментній матриці, тоді як специфічні фактори, такі як алгоритми ранжування, мережеві ефекти, моделі фулфілменту, безпосередньо керують його видимістю та динамікою продажів.

Під впливом новітніх трендів (агентна, імерсивна, соціальна, циркулярна та гіперлокальна комерція) асортиментна матриця зазнає глибинних трансформацій. Вони проявляються у поляризації її структури (від безкінечного каталогу до стиснутого асортименту даркстрів), скороченні життєвого циклу товарів, прискоренні ротації та підвищенні вимог до екологічної прозорості й AR/VR-візуалізації.

Обґрунтовано, що успішна адаптація суб'єктів господарювання до умов маркетплейсу вимагає синхронної трансформації системи управлінських рішень: переходу до прогнозної логістики, перерозподілу капіталу із закупівлі товарного запасу у внутрішньоплатформну рекламу та IT-інфраструктуру, впровадження автоматизованого A/B-тестування та динамічного ціноутворення у режимі реального часу.

Сформований у даному дослідженні комплекс стратегічних та операційних рішень орієнтований на практичне застосування керівництвом маркетплейсів та окремими 3P-продавцями для покращення показників оборотності асортименту та підвищення ефективності продажів.

Список використаних джерел:

1. Prosovych, O., & Botsman, Yu. (2018). Marketpleis yak diievyi instrument tsyfrovoho marketynhu [Marketplace as an effective digital marketing tool]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Seriia: Problemy ekonomiky ta upravlinnia*, 2(897), 32–38. https://doi.org/10.23939/semi2018.02.032

2. Hagiu, A., & Wright, J. (2015). Marketplace or reseller? *Management Science*, 61(1), 184–203. https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.2080

3. Тюріна, Д., & Гуня, С. (2025). Маркетплейс як сегмент ринку електронної торгівлі. *Економіка та суспільство*, (77). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-92

4. Brynjolfsson, E., Hu, Y., & Simester, D. (2011). Goodbye Pareto Principle, hello Long Tail: The effect of search costs on the concentration of product sales. *Management Science*, 57(8), 1373–1386. https://doi.org/10.1287/mnsc.1110.1371

5. Gutiérrez, G. (2021). *The welfare consequences of regulating Amazon* (CEPR Discussion Paper No. DP16310). Centre for Economic Policy Research.

6. Попело, О., & Лисогор, І. (2023). Цифровий маркетинг як інструмент виходу торговельного підприємства на міжнародні ринки. *Проблеми і перспективи*

економіки та управління, (2), 117–129. https://doi.org/10.25140/2411-5215-2023-2(34)-117-129

7. Li, S., Zhang, Y., Zhao, X., & Liu, W. (2024). Impact of certification information on consumer behaviour in hybrid retail platforms: Empirical evidence from JD.com. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 52(3), 310–328. https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2023-0513

8. SellersCommerce. (2024). *50+ E-commerce statistics you need to know*. https://www.sellerscommerce.com/blog/ecommerce-statistics/

9. Dean, B. (2024). *How many people shop online? E-commerce statistics*. Backlinko. https://backlinko.com/ecommerce-stats

10. Ярова, І., & Юрченко, А. (2023). Маркетплейси як ключовий драйвер глобальної електронної комерції. *Socio-Economic Relations in the Digital Society*, 4(50), 61–71. https://doi.org/10.55643/ser.2.48.2023.493

11. Pribadi, B. M., & Buwana, P. N. D. (2026). From supermarket shelves to dark stores: Sequencing e-grocery transformation in Jabodetabek. *Journal Research of Social Science, Economics, and Management*, 6(2), 1356–1374. https://doi.org/10.59141/jrssem.v6i2.1745

12. Fox, E. J., Goldschmidt, P., & Inklebarger, T. (2025). Lessons learned from retailer strategy, product assortment, and retail media networks. *Journal of Retailing*, 101(1), 138–152. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2025.02.005

1.9. Supply Chain Resilience Management Under Logistics Risks

УПРАВЛІННЯ СТІЙКІСТЮ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ЛОГІСТИЧНИХ РИЗИКІВ

Порушення постачання може виникнути на будь-якій його ділянці: під час перевезення, обробки вантажу в порту чи на складі, передавання даних або виконання замовлення контрагентом. Затримка в одній ланці змінює графік роботи наступних: транспорт очікує на вантаж, резервуються додаткові потужності, одержувач переглядає строки приймання. Тому для управління стійкістю недостатньо знати, що постачання порушено. Потрібно визначити місце й причину збою, оцінити його можливе поширення та узгодити дії учасників ланцюга. Проблема ускладнюється тим, що логістичні ризики мають різні наслідки й потребують різного часу реагування. Обмеження маршруту вимагає пошуку доступного сполучення, зупинка термінала – перерозподілу вантажопотоку, а збій інформаційної системи – відновлення даних і порядку виконання операцій. Посилення уваги науковців до операційного управління, безпеки критичної інфраструктури та побудови мереж постачання свідчить про потребу управляти такими ризиками постійно, а не лише після виникнення порушення [1].

Війни, кліматичні зміни й залежність від цифрових систем збільшують кількість ситуацій, у яких звичний порядок постачання може не спрацювати. Технології допомагають відстежувати вантажі та передавати інформацію між

учасниками, проте їхнє практичне застосування для запобігання збоям і подолання наслідків потребує подальшого дослідження [2]. Крім того, цифрові системи самі можуть стати джерелом порушення.

У межах цього дослідження зоною логістичного ризику вважатимемо ланку або умову виконання постачання, порушення якої потребує окремого управлінського рішення. Такими зонами є транспортний маршрут, логістичний вузол, цифрова система та контрагент; для роботи вузла істотне значення має також доступність енергопостачання. Виокремлення зон дає змогу встановити, де може виникнути збій, хто має ухвалити рішення та за яким показником перевіряти його результат.

Вихідне припущення полягає в тому, що результативність управління стійкістю залежить від відповідності рішення зоні та джерелу логістичного ризику й подальшого контролю відновлення постачання. Недоступність маршруту може потребувати перенаправлення вантажу, зупинка вузла – використання резервної потужності, збій цифрової системи – відновлення її роботи, а невиконання замовлення контрагентом – залучення перевіреного резервного виконавця. Результат слід оцінювати за збереженням доставки та часом відновлення операцій.

Для перевірки цього припущення потрібно з'ясувати, чи достатньо дібрати рішення відповідно до зони ризику, чи стійкість потребує також узгодження дій учасників і контролю результату. Звернемося до наукових підходів, які розглядають ці умови.

Ф. Фаджоні та ін. [3] за результатами аналізу 214 праць пов'язують стійкість зі здатністю реагувати на збої, прозорістю операцій, вимірюваними практиками та взаємодією учасників ланцюга. Це уточнює наше припущення: рішення, дібране до конкретного ризику, матиме значення для всього ланцюга лише тоді, коли учасники отримують інформацію про порушення й узгоджують подальші дії. А. Рошані та ін. [4] розрізняють локальні, регіональні та глобальні збої, а заходи підвищення стійкості поділяють на запобіжні, реактивні та пов'язані з побудовою мережі. Їхній підхід підтримує першу частину припущення: рішення має враховувати масштаб і місце порушення. Наприклад, зупинка окремого вузла потребує перерозподілу вантажів, тоді як обмеження міжнародного сполучення – перегляду маршруту. Ф. Хабібі та ін. [5] за допомогою моделювання показали, що резервні зв'язки та географічна диверсифікація постачальників можуть скорочувати час відновлення багаторівневої мережі. Це підтримує доцільність завчасної підготовки альтернатив, хоча результати змодельованих сценаріїв не можна безпосередньо переносити на будь-яку компанію.

Український досвід показує, чому альтернативи мають відповідати характеру порушення. Б. Демченко та Ж. Кононенко [6] описують руйнування шляхів, блокаду морських портів і переміщення складських хабів та пов'язують підтримання постачання з диверсифікацією маршрутів, гнучкими рішеннями й розвитком інфраструктури. А. Завербний і Ю. Ломага [7] доповнюють цей погляд умовою обмеженого часу й ресурсів під час війни: поряд зі зміною переміщення

товарів вони розглядають страхування логістичних ризиків. Отже, реагування охоплює як відновлення руху вантажу, так і управління можливими втратами. Н. Хан та Дж. Ум [8] розглядають прийняття, уникнення, контроль і передавання ризику як різні стратегії, вибір яких залежить від його характеру. Це підтримує тезу про відсутність одного рішення для всіх збоїв. Водночас Л. Прокіпчук і А. Тодощук [9] наголошують на узгодженому управлінні матеріальними та супутніми потоками. Відтак рішення щодо окремого перевезення потрібно погоджувати з діями інших ланок постачання.

Другу частину припущення – потребу контролювати відновлення – підтримують А. Пол і С. Саха [10]. Вони пов'язують гнучкі стратегії з підготовкою, реагуванням і відновленням та звертають увагу на показники результативності. Тому наявність резервного маршруту чи потужності варто оцінювати за тим, чи вдалося зберегти доставку та скільки часу зайняло повернення операцій до роботи. А. Іфтіхар та ін. [11] виокремлюють цифрові інновації й аналітику даних як напрям дослідження стійкості. Проте цифрові засоби контролю також створюють залежність від інформаційних систем: Н. Левченко та С. Левченко [12] звертають увагу на кіберризики й необхідність захисту систем. Це обмежує припущення: моніторинг допомагає контролювати відновлення лише за умови, що самі цифрові системи залишаються працездатними або мають план відновлення.

Таким чином, розглянуті праці підтримують вихідне припущення, але доповнюють його двома умовами: узгодженням дій учасників та працездатністю засобів моніторингу. Чи простежуються ці умови в управлінській практиці, далі розглянуто за звітами логістичних компаній.

Для практичного аналізу обрано п'ять логістичних компаній за двома критеріями: їхньою роллю в постачанні та наявністю у звітності опису ризику й відповідного заходу реагування. Maersk представляє морські перевезення, DHL Group – організацію міжнародних перевезень і доставку, DP World – портову та термінальну інфраструктуру. Звіти ДП «Кюне і Нагель» і ТОВ «Нова пошта» доповнюють порівняння досвідом роботи в Україні під час війни, зокрема за умов обмеження маршрутів, загроз логістичним вузлам і перебоїв енергопостачання. Такий добір дає змогу зіставити рішення для різних вразливих ланок: маршруту, вузла обробки вантажу, цифрової системи та енергозабезпечення. Порівняння проведено за єдиною схемою: ризик і можливий збій – зазначений у звіті захід – його спрямованість щодо підтримання постачання. Остання графа відображає аналітичне узагальнення, а не виміряний компаніями ефект. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Логістичні ризики та заходи підтримання стійкості ланцюгів постачання за звітністю компаній

Компанія	Ризик та можливе порушення операцій	Заходи реагування, наведені у звіті	Спрямованість заходів щодо стійкості
Maersk	Геополітична напруженість і загрози	Моніторинг геополітичних подій, альтернативні	Збереження варіантів виконання перевезень

Компанія	Ризик та можливе порушення операцій	Заходи реагування, наведені у звіті	Спрямованість заходів щодо стійкості
	судноплавству можуть обмежити використання торговельних маршрутів та затримати доставку	джерела постачання, гнучке використання мережі й потужностей, сценарне планування	за порушення звичного сполучення
	Операційні збої або нестача потужностей вузлових портів можуть погіршити дотримання розкладу	Узгодження надійності розкладу із завантаженням мережі; розширення потужностей вузлових портів	Підтримання пропускної здатності та надійності морської мережі
DHL Group	Геополітичні події та зміни правил міжнародної торгівлі можуть ускладнити перевезення	Регулярне виявлення й сценарне оцінювання ризиків, моніторинг змін, що впливають на операції	Завчасне виявлення обмежень і підготовка до коригування операцій
	Збій цифрових систем може порушити планування та супровід логістичних операцій	Призначення відповідальних за ризики, контроль індикаторів раннього попередження, оцінювання впливу та внутрішній аудит	Виявлення загроз для цифрових процесів і контроль заходів реагування
DP World	Конфлікти й політична нестабільність можуть порушити роботу портів і перевалку вантажів	Географічна диверсифікація активів, моніторинг загроз і плани безперервності діяльності	Зменшення залежності мережі від порушень в окремому регіоні
	Кібератака на портові чи логістичні системи може спричинити перерву в операціях	Перевірка готовності до кіберінцидентів, заходи захисту систем і контроль усунення виявлених недоліків	Підготовка до реагування та відновлення цифрових операцій
ДП «Кюне і Нагель»	Воєнні дії та пошкодження інфраструктури можуть обмежити доступність маршрутів	Використання альтернативних моделей транспортування й диверсифікованих маршрутів, запроваджених у попередні періоди	Підтримання перевезень за недоступності окремих шляхів
ТОВ «Нова пошта»	Обстріли, обмежений доступ до регіонів і зупинки терміналів можуть затримати обробку та доставку відправлень	Диверсифікація маршрутів, посилення захисту хабів, оптимізація операцій; відкриття у 2025 році двох терміналів і двох вантажних депо	Збереження можливості перенаправляти потоки й обробляти відправлення
	Відключення електроенергії можуть порушити роботу терміналів і відділень	Оснащення генераторами, запуск когенераційної установки на Одеському терміналі та сонячних електростанцій на трьох терміналах	Підтримання енергоживлення логістичних вузлів під час перебоїв

Джерело: складено за [13-17].

Дані табл. 1 показують, що компанії добирають заходи з огляду на ланку, робота якої перебуває під загрозою. Maersk передбачає гнучке використання маршрутів і потужностей морської мережі, DHL Group зосереджується на ранньому виявленні та сценарному оцінюванні ризиків, а DP World – на безперервності роботи портових і цифрових систем. ДП «Кюне і Нагель» продовжує використовувати альтернативні моделі транспортування й диверсифіковані маршрути під час війни. ТОВ «Нова пошта» доповнює зміну маршрутів захистом логістичних хабів, розвитком термінальної мережі та резервним енергоживленням.

Порівняння виявляє три послідовні функції заходів: підготовку до порушення, підтримання операцій під час нього та відновлення після збою. Моніторинг і сценарна оцінка належать до підготовки; альтернативні маршрути, доступні потужності й резервне живлення дають змогу продовжувати роботу; плани відновлення визначають дії після зупинки. Це узгоджується з поділом заходів на запобіжні та реактивні [4]. Українські приклади показують, що доступність маршруту й працездатність вузла можуть залежати одночасно від воєнної безпеки та енергопостачання. Водночас звітність п'яти компаній не містить зіставних даних, за якими можна було б визначити, наскільки описані заходи скоротили затримки або час відновлення.

Для оцінювання результату потрібні показники роботи ланцюга під час збою та після нього. Цифровий моніторинг може допомагати відстежувати операції, виявляти вузькі місця й моделювати сценарії реагування [18]. Для ризиків невиконання зобов'язань контрагентом запобіжним заходом є перевірка учасників логістичної операції до передання їм вантажу [19]. Ці заходи слід пов'язувати з конкретними результатами: своєчасністю доставки, тривалістю простою та часом відновлення.

Дані LPI 2.0 уточнюють оцінювання роботи логістичних вузлів. Найбільший розкид строків спостерігається на етапах, коли вантаж не рухається, зокрема під час перебування в порту та оформлення імпорту [20]. Тому після порушення варто контролювати не лише час поновлення обробки вантажів, а й тривалість їхнього перебування у вузлі та розкид затримок. Вузол може знову працювати, тоді як строки проходження вантажів залишатимуться непередбачуваними.

Отже, порівняння підтримує першу частину вихідного припущення: описані компаніями заходи відповідають різним джерелам логістичного ризику. Другу частину – результативність контролю відновлення – за оприлюдненою звітністю перевірити кількісно неможливо. Для її подальшого оцінювання сформовано матрицю управлінських рішень (табл. 2), у якій кожній зоні ризику відповідають ознака збою, відповідальний, дія та показник результату.

Матриця конкретизує порядок реагування на логістичні збої: для кожної ситуації визначено ознаку порушення, відповідального, строк ухвалення рішення, необхідні дії та показник результату. Порівняння п'яти компаній показало, що загроза може стосуватися маршруту, логістичного вузла або цифрової системи. Досвід ТОВ «Нова пошта» додатково вказує на залежність роботи терміналів від

енергопостачання. Тому, перш ніж перенаправляти вантаж, потрібно встановити причину затримки: недоступність шляху, зупинку обробки чи відсутність живлення у вузлі.

Таблиця 2

Матриця реагування на логістичні збої в ланцюзі постачання

Подія, що запускає реагування	Відповідальний і строк рішення	Операційне рішення	Кому передати інформацію	Показник результату
Маршрут: закриття ділянки, офіційне обмеження руху або прогнозована затримка понад погоджений із клієнтом допуск	Диспетчер або менеджер перевезення: фіксує відхилення після отримання повідомлення; керівник транспортної логістики: обирає маршрут до наступного відправлення вантажу	Перевірити доступність альтернативного маршруту, його час і вартість; підтвердити місце у перевізника; змінити маршрут у транспортній системі	Перевізнику, складу відправлення, одержувачу та клієнту – новий маршрут і прогнозований час прибуття	Частка доставок у погоджений строк; додатковий час транзиту
Порт, термінал або склад: призупинено приймання вантажів, черга перевищила погоджений ліміт або отримано повідомлення про зупинку роботи	Операційний менеджер вузла підтверджує масштаб збою; координатор ланцюга постачання ухвалює рішення про перерозподіл потоків до прибуття наступної партії	Перевірити доступну місткість резервного вузла, перенаправити туди вантажі та скоригувати графіки транспорту й обробки	Перевізникам, резервному вузлу, відправникам і одержувачам повідомити нове місце обробки та графік	Час відновлення обробки; медіанний час перебування вантажу у вузлі та розкид цього часу до і після збою
Цифрова система: недоступність TMS/WMS, даних про вантажі або ознаки несанкціонованого доступу	ІТ-служба: негайно реєструє інцидент; керівник логістичних операцій: визначає критичні операції та погоджує резервний порядок роботи згідно з планом відновлення	Ізолювати уражену систему за потреби; перейти на резервну систему або погоджений тимчасовий порядок обліку; після відновлення звірити записи про вантажі й замовлення	Диспетчерам, складам, перевізникам і клієнтам, яких зачепив збій, – доступний спосіб обміну даними та зміни строків	Час недоступності системи; час відновлення критичних операцій; кількість замовлень, що потребували звірки
Перевізник або контрагент: відмова від підтвердженого	Менеджер із закупівлі логістичних послуг: перевіряє	Звірити документи й статус вантажу; залучити	Відправнику, складу, новому перевізнику й одержувачу –	Час заміни виконавця; частка замовлень,

Подія, що запускає реагування	Відповідальний і строк рішення	Операційне рішення	Кому передати інформацію	Показник результату
замовлення, пропуск часу подачі транспорту або невідповідність документів	обставини; операційний менеджер: ухвалює рішення про заміну до запланованого часу відправлення	попередньо перевіреного резервного виконавця; переоформити заявку та погодити передачу вантажу	дані виконавця та оновлений час доставки	виконаних у погоджений строк

Примітка. Погоджений допуск затримки, ліміт черги та час відновлення встановлюють для конкретного маршруту, вантажу й договору в плані реагування. Зазначені в таблиці ролі можуть поєднуватися в одній посаді залежно від структури підприємства.
Джерело: розроблено автором.

Рішення про зміну маршруту або вузла обробки доцільно ухвалювати до наступної запланованої операції з вантажем. Це дає перевізнику, оператору вузла й одержувачу час узгодити новий графік. Результат реагування можна контролювати за своєчасністю доставки, тривалістю простою, часом відновлення обробки вантажів або цифрової системи. Ці показники запропоновано для матриці; звітність п'яти компаній не наводить їхніх значень у зіставному вигляді.

Для ризику невиконання замовлення контрагентом реагування починається ще до передання вантажу. Перевірка юридичних, фінансових, документальних і транспортних відомостей допомагає виявити ознаки недобросовісної поведінки [19]. Якщо виконавець не може виконати замовлення, відповідальний менеджер залучає попередньо перевіреного резервного контрагента та повідомляє учасникам ланцюга оновлені умови доставки.

В основі матриці лежить зв'язок між причиною порушення та способом його усунення. У LPI 2.0 такий підхід застосовано до державних реформ: виявлені проблеми сполучення й тривалості перевезень пов'язують із заходами, спрямованими на їхні причини [20]. Для підприємства це означає, що недоступність маршруту, затримка в порту, відключення електроенергії та збій інформаційної системи потребують різних виконавців і дій. Послідовність формування рішення – від сигналу про загрозу до оцінювання результату й коригування плану реагування – узагальнено на рис. 1. Представлений механізм пов'язує моніторинг ланцюга постачання з діями відповідальних осіб. Після виявлення загрози вони визначають, яка ланка може зазнати збою, обирають відповідне рішення та узгоджують його виконання з перевізниками, операторами вузлів, контрагентами й одержувачами. Далі перевіряють, чи збережено доставку та за який час відновлено операції. Результати цієї перевірки використовують для коригування плану реагування. Зіставлення наукових підходів зі звітністю п'яти компаній показало різні способи підтримання постачання. Maersk і ДП «Кюне і Нагель» використовують гнучкість маршрутів; DHL Group приділяє увагу ранньому виявленню ризиків; DP World – безперервності портових і цифрових операцій. Досвід ТОВ «Нова пошта» показує, що під час війни робота

логістичного вузла залежить також від його захисту та резервного енергоживлення. Ці приклади підтверджують доцільність визначати рішення за місцем і причиною порушення, враховуючи його можливе поширення на інші ланки. Результатом узагальнення стала матриця, яка пов'язує ознаку збою з відповідальним, строком рішення, необхідними діями та показником результату. Механізм доповнює її послідовністю моніторингу, реагування й перегляду планів. Для логістичних вузлів поряд із часом відновлення доцільно відстежувати тривалість перебування вантажів і розкид затримок: поновлення роботи вузла ще не гарантує передбачуваності строків постачання.



Рис. 1 – Механізм формування управлінського рішення для забезпечення стійкості ланцюга постачання

Джерело: розроблено автором.

Отже, вихідне припущення отримало концептуальне підтвердження: вибір заходу має відповідати джерелу логістичного ризику, а результат реагування потребує контролю доставки та відновлення операцій. Звітність компаній дає змогу встановити відповідність між заявленими ризиками й заходами, проте не містить зіставних операційних даних для кількісної оцінки їхньої ефективності. Таку оцінку можна провести надалі за даними про затримки, перенаправлення вантажів, простої та строки відновлення.

Список використаних джерел

1. Madzík P., Falát L., Copuš L. et al. Resilience in supply chain risk management in disruptive world: Rerouting research directions during and after pandemic. *Annals of Operations Research*. 2026. Vol. 364. P. 11–43. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-024-06126-x.

2. Agrawal S., Agrawal R., Kumar A. et al. Can industry 5.0 technologies overcome supply chain disruptions? A perspective study on pandemics, war, and climate change issues. *Operations Management Research*. 2024. Vol. 17. P. 453–468. DOI: https://doi.org/10.1007/s12063-023-00410-y.

3. Faggioni F., Rossi M. V., Sestino A. Conceptualizing supply chain resilience in exogenous crisis times: Toward a holistic definition. *Journal of the Knowledge Economy*. 2024. Vol. 15. P. 17308–17332. DOI: https://doi.org/10.1007/s13132-024-01816-0.

4. Roshani A., Walker-Davies P., Parry G. Designing resilient supply chain networks: A systematic literature review of mitigation strategies. *Annals of Operations Research*. 2024. Vol. 341. P. 1267–1332. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-024-06228-6.

5. Habibi F., Chakrabortty R. K., Abbasi A., Ho W. Investigating disruption propagation and resilience of supply chain networks: Interplay of tiers and connections. *International Journal of Production Research*. 2025. Vol. 63, no. 17. P. 6229–6251. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2470348.

6. Демченко Б., Кононенко Ж. Трансформація логістичних ланцюгів України в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 80. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-68.

7. Завербний А., Ломага Ю. Проблеми та перспективи формування логістичних ланцюгів постачання у воєнний період за умов активізування євроінтеграції. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 45. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-23.

8. Han N., Um J. Risk management strategy for supply chain sustainability and resilience capability. *Risk Management*. 2024. Vol. 26. Article 6. DOI: https://doi.org/10.1057/s41283-023-00138-w.

9. Прокіпчук Л., Тодощук А. Проблеми та перспективи управління ризиками в ланцюгах постачання за умов невизначеності. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 71. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-82.

10. Paul A., Saha S. C. A systematic literature review on flexible strategies and performance indicators for supply chain resilience. *Global Journal of Flexible Systems Management*. 2025. Vol. 26, suppl. 1. P. 207–231. DOI: https://doi.org/10.1007/s40171-024-00415-x.

11. Iftikhar A., Ali I., Arslan A. et al. Digital innovation, data analytics, and supply chain resiliency: A bibliometric-based systematic literature review. *Annals of Operations Research*. 2024. Vol. 333. P. 825–848. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-022-04765-6.

12. Левченко Н. М., Левченко С. А. Оцінювання та управління стійкістю ланцюгів поставок в умовах цифрової трансформації. *Економічний вісник Донбасу*. 2025. № 3(81). С. 194–199. DOI: https://doi.org/10.12958/1817-3772-2025-3(81)-194-199.

13. A. P. Moller – Maersk. *Annual Report 2025*. 2026. URL: https://ml-eu.globenewswire.com/Resource/Download/61eb6ba2-916f-4254-8af6-4b2ff2717858 (дата звернення: 24.09.2026).

14. DHL Group. Opportunity and risk management. *2025 Annual Report*. URL: https://reporting-hub.group.dhl.com/2025-fy/en/combined-management-report/expected-developments-opportunities-and-risks/opportunity-and-risk-management/ (дата звернення: 24.09.2026).

15. DP World. *Annual Report and Accounts 2025: The Smarter Trade Report*. URL: https://dpw-p-001.sitecorecontenthub.cloud/api/public/content/58b211cb1aad4263be87f0d33fd0993f?v=b2febf77 (дата звернення: 24.09.2026).

16. ДП «Кюне і Нагель». *Фінансова звітність згідно з Національними положеннями (стандартами) бухгалтерського обліку за рік, що закінчився 31 грудня 2025 року, разом зі звітом незалежного аудитора*. URL: https://assets.kuehne-nagel.com/f/331466/x/d727f6546d/countries-ukraine-kuehne-nagel-financial-statement-2025.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

17. ТОВ «Нова пошта». *Звіт про управління за рік, що закінчився 31 грудня 2025 року*. URL: https://assets.kuehne-nagel.com/f/331466/x/d727f6546d/countries-ukraine-kuehne-nagel-financial-statement-2025.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

18. Голобородько А. Ю. Управління стійкістю ланцюгів постачання підприємств торгівлі на засадах цифровізації. *Проблеми економіки*. 2025. № 4(66). С. 197–205. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-4-197-205.

19. Лега О., Тараненко Я. Шахрайство в логістичній діяльності як загроза економічній безпеці підприємств. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2026. № 3(24). С. 103–110. DOI: https://doi.org/10.32782/dees.24-15.

20. Arvis J.-F., Herrera Dappe M., Ulybina D., Wiederer C. *Connecting to Compete 2025: The New Logistics Performance Indicators 2.0*. Washington, DC : World Bank, 2026. URL : https://documents1.worldbank.org/curated/en/099042226142014971/pdf/P500808-289f34bf-7999-473f-8cbd-63225ad20316.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

1.10. Psychology of Consumer Behaviour and Emotional Marketing in theTourism and Hospitality Sector in the Context of Post-War Reconstruction

ПСИХОЛОГІЯ СПОЖИВЧОЇ ПОВЕДІНКИ ТА ЕМОЦІЙНИЙ МАРКЕТИНГ У СФЕРІ ТУРИЗМУ І ГОСТИННОСТІ В КОНТЕКСТІ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Споживча поведінка як об'єкт маркетингового дослідження

Сучасний розвиток сфери туризму та гостинності характеризується посиленням орієнтації підприємств на глибоке розуміння поведінки споживачів. Традиційне трактування маркетингової діяльності переважно через категорії товару, ціни, каналів збуту та просування поступово доповнюється дослідженням того, як споживач сприймає пропозицію, які потреби та мотиви визначають його вибір, які емоції виникають у процесі взаємодії з підприємством та яким чином отриманий досвід впливає на подальшу поведінку.

В сучасному світі споживча поведінка розглядається як процес вибору, придбання, використання та подальшого розпорядження продуктом або

послугою. При цьому на рішення споживача впливають психологічні фактори, які визначають його реакцію на маркетингові стимули, процес прийняття рішення та формування прихильності до бренду. Такий підхід відповідає сучасному розумінню consumer behavior, відповідно до якого аналіз споживання не обмежується моментом купівлі, а охоплює процеси до, під час і після придбання якогось товару чи послуги. Саме так побудована, зокрема, концепція споживчої поведінки у праці M. Solomon [10].

Для туристичної та готельно-ресторанної сфери така особливість має принципове значення. Туристична послуга суттєво відрізняється від матеріального товару тим, що її цінність формується не лише функціональними характеристиками пропозиції, а й безпосереднім досвідом споживача. Вибір готелю, ресторану, туристичної дестинації чи конкретної туристичної послуги пов'язаний із очікуваннями, попереднім досвідом, уявленнями про безпеку та комфорт, соціальним оточенням, емоційними очікуваннями та образом майбутнього перебування.

Дослідження M. Godovykh та A. D. A. Tasci дає підстави розглядати туристичний досвід як комплексну систему когнітивних, емоційних, сенсорних і поведінкових (conative) реакцій споживача. Важливо, що досвід формується не в одній точці контакту, а протягом трьох основних етапів: до подорожі, під час перебування та після її завершення [3].

Отже, з маркетингової точки зору поведінка туриста може бути представлена як послідовність взаємопов'язаних процесів (Рис. 1).

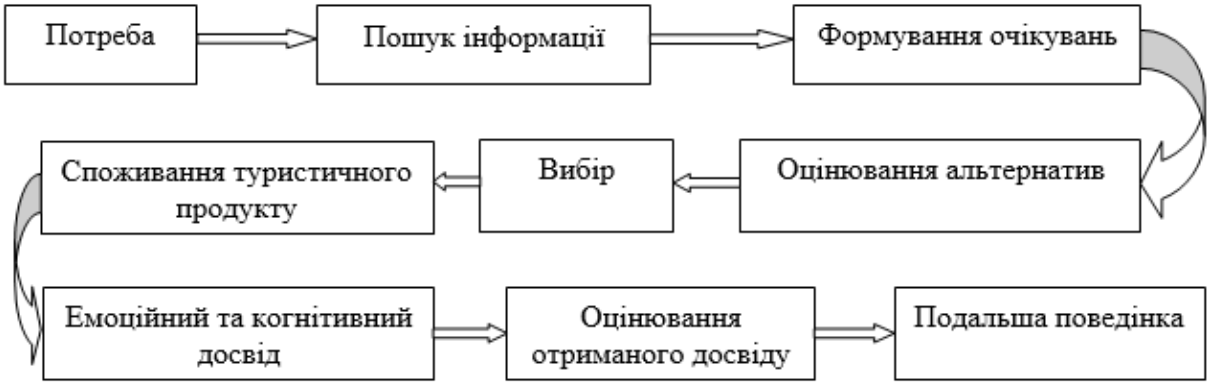


Рис. 1. Етапи поведінки споживача при виборі туристичної послуги

На кожному з цих етапів підприємство туризму та гостинності має можливість впливати на сприйняття споживача, однак характер цього впливу має відповідати психологічним механізмам конкретного етапу.

Особливо важливо враховувати, що туристичний продукт споживається не тільки функціонально, а й емоційно. Турист купує не лише транспорт, номер у готелі, харчування чи екскурсію, а очікуваний досвід - відпочинок, нові враження, комфорт, пізнання, соціальну взаємодію, відчуття безпеки або можливість відновлення. Саме тому емоційна складова поступово стає одним із важливих об'єктів маркетингового управління.

Проаналізувавши велику кількість публікацій, присвячених емоціям у цій сфері, виявлено, що емоції є важливою складовою дослідження поведінки споживачів туристичних і готельно-ресторанних послуг [12]

Таким чином, психологічний підхід до споживчої поведінки дає змогу перейти від питання «що купує турист?» до ширшого питання «чому турист обирає саме цю пропозицію, як він її сприймає, які емоції очікує отримати та як отриманий досвід вплине на його подальшу поведінку?»

Для підприємств туризму та гостинності така зміна маркетингового фокусу має практичне значення. Якщо функціональні характеристики туристичного продукту можуть бути подібними у конкурентів, то емоційний досвід, якість взаємодії, атмосфера, відчуття турботи та персоналізоване ставлення можуть формувати додаткову цінність пропозиції.

У практичній діяльності виділяють чотири групи факторів, що впливають на поведінку споживача (рис. 2). Для сфери туризму та гостинності ці фактори доцільно розглядати не ізольовано, а як взаємопов'язану систему.



Рис. 2. Фактори впливу на поведінку споживача

Емоційні фактори визначають те, які почуття викликає у споживача певна пропозиція, бренд або ситуація взаємодії. Наприклад, фотографія туристичної дестинації може формувати відчуття очікування відпочинку, рекламне повідомлення готелю - відчуття комфорту й безпеки, а комунікація ресторану - асоціації з приємною атмосферою та соціальним спілкуванням.

Соціальні фактори пов'язані з впливом сім'ї, друзів, соціального оточення, референтних груп та соціальних норм. У цифровому середовищі до них додається вплив відгуків інших споживачів, рекомендацій, користувацького контенту та соціальних мереж.

Культурні фактори визначають особливості сприйняття туристичного продукту, цінності та моделі поведінки різних груп споживачів. Для туризму це особливо важливо, оскільки сам туристичний продукт часто базується на культурній, історичній та локальній ідентичності території.

Мотиваційні фактори визначають потребу, яка спонукає людину до певної поведінки. У туристичному контексті це можуть бути потреби у відпочинку, відновленні, нових враженнях, спілкуванні, пізнанні, зміні середовища або самореалізації.

Тому, маркетингова пропозиція у сфері туризму та гостинності повинна враховувати не тільки функціональну користь, а й психологічну цінність, яку споживач очікує отримати.

Мотивація як основа поведінки споживача

Важливе місце в аналізі психології споживача займає мотивація. Ієрархія потреб А. Маслоу [8] дозволяє розглядати поведінку людини через різні рівні потреб - від базових фізіологічних і потреби у безпеці до соціальних потреб, потреби у визнанні та самореалізації. Для туристичної сфери ця теоретична конструкція може бути використана як аналітична основа для розуміння різних мотивів споживання. Наприклад, одна й та сама туристична поїздка може задовольняти одночасно декілька потреб: потребу у відпочинку, безпеці, соціальній взаємодії, нових враженнях і самореалізації.

Водночас застосування ієрархії Маслоу в сучасному маркетинговому аналізі потребує обережності: її доцільно використовувати як теоретичну модель мотивації, а не як жорстку універсальну послідовність поведінки всіх споживачів.

Теорія очікувань В. Врума акцентує увагу на зв'язку між очікуванням результату, його досяжністю та цінністю винагороди для людини. У туристичному маркетингу цей підхід дає змогу пояснити, чому споживач порівнює очікуваний результат із витратами, які він повинен понести для його отримання.

Наприклад, споживач може оцінювати не тільки ціну туру, але й те, чи відповідає очікуваний рівень комфорту, безпеки, вражень і сервісу заявленій вартості. Тому розрив між рекламною обіцянкою та фактичним досвідом здатний негативно впливати на оцінку послуги.

Двофакторна теорія Ф. Герцберга, у свою чергу, дозволяє розмежувати фактори, усунення яких запобігає незадоволеності, та фактори, які можуть створювати позитивну мотивацію. У контексті гостинності це дає можливість розрізняти базові умови обслуговування та додаткові елементи, здатні створювати позитивний досвід.

Наприклад, чистота номера, дотримання стандартів безпеки та належне виконання базових зобов'язань можуть сприйматися як необхідна умова послуги. Натомість персоналізоване ставлення, атмосфера, локальна автентичність або створення особливого емоційного досвіду можуть формувати додаткову цінність.

Отже, психологічний аналіз мотивації дозволяє зробити важливий для маркетингу висновок: споживач оцінює туристичну пропозицію не лише за її об'єктивними характеристиками, а через систему власних потреб, очікувань і суб'єктивної цінності отриманого результату.

Когнітивні особливості прийняття споживчих рішень

Поведінка споживача не завжди є результатом повністю раціонального порівняння всіх доступних альтернатив. Серед безлічі психологічних механізмів виділено такі основні когнітивні упередження, як статус-кво, ефект якоря, підтверджувальне упередження та ефект дефіциту.

Для туристичного маркетингу це має особливе значення, оскільки споживач часто приймає рішення в умовах великої кількості інформації та обмеженого часу.

Ефект статус-кво може проявлятися у схильності людини зберігати вже знайому модель поведінки. Наприклад, турист може повторно обирати знайомий готель або туристичну компанію, навіть якщо на ринку з'явилися альтернативні пропозиції.

Ефект якоря означає вплив початкової інформації на подальше оцінювання пропозиції. У маркетингових комунікаціях таким якорем може виступати початкова ціна, заявлений рівень знижки або певний орієнтир щодо характеристик послуги.

Підтверджувальне упередження пов'язане з тенденцією звертати більше уваги на інформацію, яка відповідає вже сформованим переконанням. Для туристичних підприємств це означає важливість узгодженості всіх точок комунікації бренду: візуального контенту, відгуків, сайту, соціальних мереж і фактичного сервісу.

Ефект дефіциту може посилювати суб'єктивну цінність пропозиції, коли споживач сприймає її як обмежену в часі або доступності.

Разом із тим використання таких механізмів у туристичному маркетингу потребує етичного підходу. Завдання маркетингової комунікації полягає не в маніпулюванні споживачем, а у формуванні зрозумілої ціннісної пропозиції, яка відповідає реальним характеристикам туристичного продукту.

Таким чином, психологія споживчої поведінки формує теоретичний фундамент для розуміння того, як потреби, мотиви, емоції, соціальне середовище, очікування та когнітивні механізми впливають на вибір туриста.

Емоційний маркетинг у сучасних маркетингових комунікаціях

Розвиток сучасного маркетингу характеризується поступовим зміщенням акценту від виключно функціональних характеристик товару чи послуги до досвіду, який отримує споживач у процесі взаємодії з брендом. Особливого значення в цьому контексті набувають емоції, оскільки саме вони можуть визначати характер сприйняття інформації, запам'ятовування досвіду та подальшу поведінкову реакцію споживача.

У науковій літературі емоційний маркетинг розглядається як складова загального споживчого досвіду. Зокрема, M. Bastiaansen та співавтори, досліджуючи сферу туризму, гостинності та дозвілля, визначають емоції як базові складові досвіду. Автори виходять із того, що досвід являє собою послідовність емоційних реакцій, які виникають протягом взаємодії людини з певною пропозицією або середовищем. Водночас дослідники підкреслюють значення емоцій для формування запам'ятовуваного досвіду [1].

Отже, емоційний маркетинг доцільно розглядати не лише як сукупність рекламних прийомів, спрямованих на виклик певного почуття, а як системний підхід до формування емоційної цінності взаємодії споживача з підприємством та його брендом.

Для підприємств туризму та гостинності це має особливе значення. Туристична послуга за своєю природою є досвідною: її споживання відбувається протягом певного часу, включає численні точки контакту та передбачає безпосередню взаємодію клієнта з персоналом, фізичним середовищем, іншими споживачами, цифровими каналами та туристичною дестинацією.

Тому емоційний маркетинг у цій сфері може охоплювати не лише рекламне повідомлення, а весь комплекс взаємодій споживача з туристичним підприємством - від першого контакту з інформацією про пропозицію до оцінювання отриманого досвіду після завершення подорожі.

Такі зарубіжні науковці, як Tuerxunbieke Tuerlan, Shanshi Li та Noel Scott, які провели багато досліджень емоцій у туризмі та гостинності, приділяються особливу увагу передумовам виникнення емоцій, способам їх вимірювання та наслідкам для поведінки споживачів. Автори водночас звертають увагу на те, що зводити емоції лише до поділу на «позитивні» та «негативні» недостатньо, оскільки різні емоції можуть мати різні психологічні та поведінкові наслідки [12]. Наприклад, радість, здивування, довіра, ностальгія, гордість чи відчуття безпеки можуть мати різне значення для споживача навіть тоді, коли всі вони умовно належать до позитивного емоційного спектра.

Таким чином, завдання емоційного маркетингу полягає не у простому «викликанні позитивних емоцій», а у формуванні емоційного досвіду, який відповідає потребам, очікуванням та цінностям цільового споживача.

Емоційна складова маркетингової комунікації безпосередньо пов'язана зі сприйняттям бренду. Споживач взаємодіє не лише з раціональною інформацією про ціну, характеристики послуги чи її функціональні переваги, а й формує певне загальне враження від бренду.

Для підприємств гостинності це особливо актуально, оскільки бренд часто сприймається через конкретні епізоди взаємодії. Наприклад, образ готелю формується не тільки його логотипом або рекламним повідомленням, а й тим, як споживач сприймає процес бронювання, комунікацію персоналу, атмосферу закладу, оформлення приміщення, якість обслуговування та вирішення проблемних ситуацій.

У цьому контексті емоція стає своєрідним зв'язуючим елементом між окремими точками контакту. Якщо різні канали комунікації створюють узгоджене емоційне враження, це може сприяти формуванню цілісного образу бренду.

Дослідження Bastiaansen та співавторів показує, що емоції відіграють важливу роль у тому, наскільки досвід стає для споживача запам'ятовуваним. Автори пов'язують дослідження емоцій безпосередньо з дизайном досвіду в туризмі та гостинності [1].

Тому для маркетингової стратегії підприємства важливо визначати не лише, що повідомити споживачу; через який канал це зробити; яку функціональну перевагу запропонувати, але й яке відчуття має виникнути у споживача; який

образ повинен сформуватися; який досвід має залишитися після взаємодії з брендом.

При цьому емоційна комунікація не повинна суперечити фактичній характеристиці послуги. Якщо рекламне повідомлення створює високі очікування, а реальний досвід їм не відповідає, виникає розрив між очікуваним і фактичним досвідом. Тому емоційний маркетинг повинен бути інтегрований із реальною якістю туристичної або готельно-ресторанної послуги.

Емоційні тригери у маркетингових комунікаціях

Одним із практичних напрямів емоційного маркетингу є використання емоційних тригерів - елементів комунікації, здатних привертати увагу, актуалізувати певну потребу або посилювати емоційне сприйняття пропозиції. Як правило, виділяють такі основні емоційні тригери, як радість і щастя, смуток та емпатія, страх і відчуття терміновості, гордість та натхнення.

Для сфери туризму та гостинності різні емоційні акценти можуть відповідати різним споживчим мотивам:

- радість і позитивне очікування можуть використовуватися для комунікації відпочинку, нових вражень, сімейного дозвілля або приємного проведення часу;
- емпатія може бути доречною у комунікації брендів, які позиціонують себе через турботу, гостинність, підтримку клієнта та людяність;
- відчуття безпеки набуває особливого значення у туристичній сфері, оскільки подорож пов'язана з виходом людини за межі звичного середовища. У такому випадку комунікація повинна не створювати додаткову тривогу, а, навпаки, знижувати невизначеність через зрозумілу інформацію, прозорі умови та демонстрацію надійності;
- гордість і натхнення можуть бути пов'язані з унікальністю місця, локальною культурою, автентичністю та можливістю отримати досвід, який споживач вважає особливим.

Отже, вибір емоційного тригера має ґрунтуватися на мотивації конкретної цільової аудиторії, а не на універсальному припущенні, що певна емоція однаково впливатиме на всіх споживачів.

Одним із важливих очікуваних результатів емоційно орієнтованих маркетингових комунікацій є формування довгострокового зв'язку між споживачем і брендом. Емоційна комунікація тісно пов’язана з формуванням довіри, близькості до бренду та довгострокових відносин, а використання відповідних емоційних тригерів - із повторними покупками та лояльністю.

У туризмі та гостинності цей зв'язок набуває особливої форми. Споживач може оцінювати підприємство не тільки за результатом окремої послуги, але й за тим, які емоції та спогади пов'язані з брендом.

Саме тому для підприємства важливим ресурсом стає не просто задоволений клієнт, а клієнт, який отримав позитивно забарвлений і запам'ятовуваний досвід [1].

Водночас не слід ототожнювати емоційний маркетинг із виключно позитивними емоціями. Емоції в туристичному контексті є складним явищем, а

їхні передумови та наслідки потребують диференційованого аналізу. Тому стратегія підприємства має бути орієнтована не на максимізацію емоційної інтенсивності як такої, а на відповідність емоційного досвіду позиціонуванню бренду, потребам споживача та змісту туристичної пропозиції.

Вищепроведений аналіз дозволяє розглядати емоційний маркетинг як складову ширшої концепції customer experience management (управління досвідом споживачів). У такому випадку емоції не обмежуються рекламною комунікацією, а розглядаються протягом усього шляху споживача.

Умовно цей процес можна представити таким чином (Рис. 3):

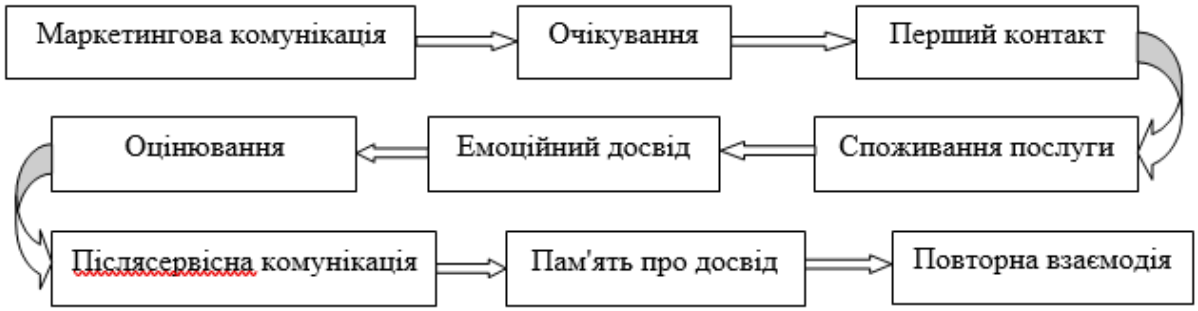


Рис. 3. Процес здійснення емоційного маркетингу як складової концепції customer experience management

Для туристичного підприємства це означає необхідність узгодження емоційного повідомлення з реальною організацією обслуговування. Якщо реклама демонструє спокій, турботу та комфорт, відповідні характеристики повинні бути присутніми і в процесі фактичного обслуговування.

Саме тому емоційний маркетинг доцільно трактувати як міжфункціональний напрям маркетингового управління, який пов'язує комунікації, бренд, сервіс, дизайн середовища, роботу персоналу та управління клієнтським досвідом.

Такий підхід особливо важливий для туристичної та готельно-ресторанної сфери, де споживання послуги передбачає безпосередній контакт клієнта з усіма елементами сервісної системи. Відповідно, емоція формується не тільки маркетологом - вона формується всією організацією.

Отже, емоційний маркетинг можна розглядати як міст між психологією споживчої поведінки та практикою маркетингового управління. Якщо психологія пояснює, чому емоції впливають на сприйняття та поведінку людини, то емоційний маркетинг переводить це розуміння у систему практичних рішень щодо створення, комунікації та підтримки споживчої цінності.

Для сфери туризму та гостинності це створює основу для переходу від продажу окремої послуги до управління цілісним емоційним досвідом туриста.

Трансформація споживчих потреб і очікувань у туристичній сфері у період повоєнного відновлення

Сучасний розвиток туристичної індустрії характеризується посиленням ролі психологічних та емоційних чинників у процесі прийняття споживчих рішень. Якщо традиційні підходи до маркетингу туристичних послуг переважно зосереджувалися на функціональних характеристиках продукту, його вартості, доступності та якості обслуговування, то сучасні концепції дедалі більше враховують суб'єктивне сприйняття споживачем туристичного досвіду, емоційну цінність подорожі, відчуття належності до певної спільноти та можливість задоволення особистісних потреб.

У науковій літературі споживання туристичних послуг розглядається як багатовимірний процес, що поєднує когнітивні, емоційні, поведінкові та соціальні компоненти. Зокрема, Holbrook і Hirschman [4] обґрунтували необхідність урахування гедоністичних аспектів споживання, підкреслюючи значення емоцій, уяви, сенсорних вражень і символічного змісту споживчого досвіду. У сфері туризму ці характеристики набувають особливого значення, оскільки туристичний продукт часто споживається не лише заради отримання конкретної послуги, а й заради переживань, нових вражень, відпочинку, самопізнання та соціальної взаємодії.

Повоєнне відновлення туристичної сфери України актуалізує необхідність глибшого розуміння змін у системі споживчих потреб, мотивацій і критеріїв вибору туристичних послуг. Водночас важливо враховувати, що такі зміни не є однаковими для всіх споживачів. На характер туристичної поведінки можуть впливати особистий досвід війни, місце проживання, фінансові можливості, сімейні обставини, попередній досвід подорожей, сприйняття ризиків і суб'єктивне відчуття безпеки.

За таких умов особливого значення набуває розуміння того, що рішення про подорож формується не лише під впливом раціонального зіставлення цін і характеристик пропозиції. Воно також залежить від очікуваних емоцій, довіри до туристичного підприємства, сприйняття місця призначення та уявлень про можливі результати подорожі. Дослідження споживчої поведінки в туризмі підтверджують важливість емоційного досвіду для задоволеності туристів і формування їхніх подальших поведінкових намірів.

В умовах повоєнного відновлення можна виокремити декілька напрямів потенційної трансформації споживчих очікувань:

1) зростає значення безпеки та передбачуваності туристичного досвіду. Інформація про умови перебування, доступність транспортного сполучення, організацію медичної допомоги, порядок дій у надзвичайних ситуаціях і прозорість умов бронювання може впливати на сприйняття туристичної пропозиції. Водночас безпека має розглядатися не як емоційний рекламний образ, а як реальна характеристика послуги, що потребує належного організаційного забезпечення;

2) актуалізується потреба в емоційному відновленні, відпочинку та психологічному розвантаженні. Для частини споживачів подорож може

асоціюватися з можливістю тимчасово змінити повсякденне середовище, відновити соціальні зв'язки, провести час із близькими або отримати позитивні враження. Проте такі мотиви не слід універсалізувати: їхня значущість залежить від індивідуальних потреб і життєвих обставин;

3) посилюється потенційне значення соціальної складової туристичного споживання. Подорожі можуть сприяти підтриманню родинних зв'язків, спільному проведенню часу, відновленню комунікації та залученню до локальних культурних практик. У цьому контексті емоційна цінність туристичного продукту визначається не лише характеристиками місця відвідування, а й можливістю створення позитивного спільного досвіду;

4) важливим чинником може стати довіра до туристичного підприємства та його комунікацій. За умов невизначеності споживачі можуть приділяти більше уваги достовірності інформації, репутації компанії, відгукам інших клієнтів, прозорості цінової політики та відповідності рекламних обіцянок фактичному рівню обслуговування. Відтак емоційний маркетинг повинен доповнюватися послідовною роботою над якістю послуг, управлінням ризиками та підтриманням довгострокових відносин із клієнтами.

Отже, трансформація споживчих очікувань у контексті повоєнного відновлення потребує від туристичних підприємств переходу від стандартизованих маркетингових повідомлень до більш гнучких моделей взаємодії зі споживачами. Такі моделі мають поєднувати функціональну цінність туристичної послуги з її емоційною складовою, водночас враховуючи неоднорідність потреб, мотивацій і поведінкових моделей різних груп споживачів.

Емоційний маркетинг як інструмент формування довіри та позитивного сприйняття туристичної дестинації

У контексті повоєнного відновлення емоційний маркетинг набуває значення не лише як засіб привернення уваги до туристичної пропозиції, а й як інструмент формування довгострокових відносин між туристичними підприємствами, споживачами та територіальними громадами. Його ефективність залежить від здатності маркетингових комунікацій відображати реальні характеристики туристичного продукту, відповідати актуальним очікуванням споживачів і формувати послідовний образ туристичної дестинації.

Важливим теоретичним підґрунтям такого підходу є концепція економіки вражень, розроблена B. J. Pine та J. H. Gilmore [9]. Відповідно до цієї концепції, конкурентні переваги підприємства можуть формуватися не лише завдяки матеріальним характеристикам продукту або якості послуги, а й завдяки створенню особливого досвіду взаємодії зі споживачем. У туристичній сфері це передбачає проєктування цілісного досвіду, який охоплює інформаційний етап, процес бронювання, перебування в дестинації, безпосередню взаємодію з персоналом, місцевою культурою та інфраструктурою, а також післяподорожню комунікацію.

Емоційний маркетинг у туристичній сфері доцільно розглядати як систему маркетингових рішень, спрямованих на формування бажаних емоційних асоціацій із туристичним продуктом, брендом підприємства або територією. Його зміст не обмежується використанням емоційних образів у рекламі. Він охоплює дизайн туристичного досвіду, характер міжособистісної взаємодії, комунікаційний стиль, символіку бренду, персоналізацію пропозицій і способи реагування підприємства на потреби клієнтів.

У процесі повоєнного відновлення особливого значення набувають такі напрями застосування емоційного маркетингу:

1. Формування відчуття довіри через прозорість комунікацій. Туристичні підприємства мають забезпечувати відповідність рекламних повідомлень фактичним умовам надання послуг. Достовірна інформація про місце розташування, інфраструктуру, умови проживання, доступність об'єктів, транспортне сполучення та правила бронювання зменшує невизначеність і сприяє формуванню обґрунтованих очікувань. Емоційна складова комунікації в цьому випадку виникає не стільки завдяки яскравим образам, скільки завдяки впевненості споживача в надійності підприємства.

2. Створення автентичного образу туристичної дестинації. Емоційне сприйняття території формується під впливом її природних, культурних, історичних і соціальних характеристик. Використання локальних історій, традицій, гастрономії, ремесел і культурної спадщини може сприяти формуванню емоційного зв'язку між відвідувачем і місцем подорожі. Водночас такі комунікації повинні ґрунтуватися на повазі до місцевої культури та реального досвіду громади, а не на штучному конструюванні привабливих, але недостовірних образів.

3. Персоналізація туристичних пропозицій. Врахування індивідуальних мотивів подорожі, вікових особливостей, складу туристичної групи, бюджету та бажаного формату відпочинку дозволяє підприємствам пропонувати більш релевантні послуги. Персоналізація може проявлятися у створенні сімейних маршрутів, культурно-пізнавальних програм, гастрономічних турів, короткотривалих відпочинкових поїздок або індивідуально сформованих пакетів послуг.

4. Розвиток емоційно значущих сервісних контактів. Спілкування з персоналом готелів, закладів харчування, туристично-інформаційних центрів та екскурсійних служб є важливим елементом загального сприйняття туристичного досвіду. Уважність, доброзичливість, готовність допомогти, повага до індивідуальних потреб і здатність оперативно вирішувати проблеми можуть формувати позитивні емоційні враження, які впливатимуть на загальну оцінку послуги.

5. Підтримання взаємодії після завершення подорожі. Післяподорожня комунікація сприяє збереженню контакту зі споживачем, отриманню зворотного зв'язку та формуванню передумов для повторного відвідування. Важливими інструментами є персоналізовані повідомлення, програми лояльності,

запрошення до участі в культурних заходах, інформування про нові туристичні маршрути та заохочення до добровільного поширення власного досвіду.

Водночас застосування емоційного маркетингу в умовах суспільної вразливості потребує дотримання етичних принципів. Зокрема, недоцільно використовувати травматичний досвід людей як рекламний інструмент, експлуатувати суспільні страхи або створювати необґрунтовані обіцянки психологічного відновлення через подорожі. Маркетингова комунікація має підтримувати автономність споживача, надавати достовірну інформацію та залишати за ним право самостійно оцінювати доцільність придбання послуги.

Таким чином, емоційний маркетинг у сфері туризму і гостинності доцільно розглядати як комплексний підхід до формування цінності туристичного продукту, що поєднує достовірність комунікацій, автентичність досвіду, якість сервісу та довгострокову взаємодію зі споживачем.

Одним із ключових завдань емоційного маркетингу є створення умов для формування позитивного туристичного досвіду, який зберігатиметься в пам'яті споживача після завершення подорожі та впливатиме на його подальші поведінкові рішення.

У дослідженні C. Tung та R. Ritchie незабутній туристичний досвід розглядається крізь призму індивідуального сприйняття подій, пов'язаних із подорожжю, та їх подальшого відтворення в пам'яті [13]. Автори наголошують на необхідності розглядати туристичний досвід як процес, що охоплює не лише безпосереднє перебування в дестинації, а й попередні очікування та післяподорожнє осмислення пережитого.

У цьому контексті доцільно виділити три взаємопов'язані етапи формування туристичного досвіду.

Етап 1. Формування очікувань до подорожі. На цьому етапі споживач отримує інформацію про туристичну дестинацію, аналізує альтернативні пропозиції, переглядає фотографії, відеоматеріали, відгуки та рекомендації. Маркетингові комунікації можуть формувати уявлення про майбутні враження, однак їхній вплив залежить від відповідності повідомлень потребам споживача, змісту пропозиції та рівня довіри до джерела інформації. Дослідження рекламування туристичних дестинацій показують, що емоційна реакція на рекламні матеріали може частково пояснювати їхній вплив на інтерес до відвідування та наміри споживачів.

Етап 2. Безпосереднє споживання туристичної послуги. У цей період відбувається взаємодія споживача з фізичним середовищем, персоналом, іншими туристами, місцевими жителями та культурними об'єктами. Враження формуються під впливом як заздалегідь запланованих елементів туристичного продукту, так і непередбачуваних ситуацій. Особливе значення мають якість обслуговування, естетика середовища, доступність інформації, можливість активної участі в подіях і відчуття особистої залученості.

Етап 3. Післяподорожнє осмислення досвіду. Після повернення споживач оцінює відповідність фактичних вражень попереднім очікуванням, формує

загальне ставлення до туристичної дестинації та підприємств, послугами яких він користувався. Саме на цьому етапі можуть виникати наміри повторного відвідування, рекомендації знайомим, публікації відгуків або, навпаки, відмова від подальшої взаємодії з брендом.

Важливо враховувати, що емоційна насиченість досвіду не завжди означає його позитивність. Негативні враження також можуть залишатися в пам'яті та впливати на поведінку споживача. Тому завдання туристичного підприємства полягає не в максимізації емоційної інтенсивності будь-якою ціною, а у створенні послідовного, комфортного, змістовного та відповідного очікуванням клієнта досвіду.

Для підприємств туристичної сфери України в умовах повоєнного відновлення це передбачає необхідність поєднання емоційної привабливості туристичного продукту з реальною якістю сервісу, належною організацією процесів і відповідальним управлінням взаємодією зі споживачами.

Практичні напрями інтеграції емоційного маркетингу в стратегії туристичних підприємств

Практичне застосування емоційного маркетингу передбачає інтеграцію психологічних характеристик споживчої поведінки в процес розроблення туристичного продукту, формування маркетингових комунікацій, організації обслуговування та управління клієнтськими відносинами. Для підприємств туристичної сфери, які працюють в умовах повоєнного відновлення, важливо забезпечити узгодженість між емоційними повідомленнями, фактичними характеристиками послуг і цінностями, які транслює бренд.

Доцільним є застосування комплексного підходу, що передбачає реалізацію декількох взаємопов'язаних напрямів.

Перший напрям - розроблення емоційно орієнтованих туристичних продуктів. Туристичні підприємства можуть формувати пропозиції, які поєднують відвідування культурних і природних об'єктів із гастрономічними враженнями, знайомством із локальними традиціями, творчими майстернями та взаємодією з місцевими громадами. Такий підхід дає змогу сформувати додаткову цінність туристичного продукту без зведення його конкурентоспроможності виключно до ціни.

Другий напрям - використання сторітелінгу в маркетингових комунікаціях. Розповіді про історію місцевості, культурну спадщину, особливості регіональної кухні, діяльність місцевих виробників і традиції гостинності можуть сприяти формуванню емоційного зв'язку між споживачем і дестинацією. Водночас історії мають ґрунтуватися на перевірених фактах і реальних людських досвідах. Їхнє завдання полягає в розкритті унікальності місця, а не в маніпулюванні емоціями аудиторії.

Третій напрям - розвиток цифрових каналів емоційної взаємодії. Вебсайти, соціальні мережі, відеоматеріали, інтерактивні карти та віртуальні екскурсії можуть допомагати потенційним туристам сформувати попереднє уявлення про майбутню подорож. Візуальний контент доцільно доповнювати практичною

інформацією про доступність послуг, умови бронювання, інфраструктуру та особливості перебування. Це сприятиме поєднанню емоційної привабливості з інформаційною повнотою.

Четвертий напрям - підвищення емоційної компетентності персоналу. У сфері гостинності працівники безпосередньо впливають на сприйняття якості послуг. Тому важливими є розвиток навичок комунікації, уважного ставлення до потреб гостей, конструктивного розв'язання конфліктів і професійного реагування на скарги. Емоційна компетентність персоналу повинна доповнюватися чіткими стандартами обслуговування та належними умовами праці.

П'ятий напрям - формування системи оцінювання результативності емоційного маркетингу. Для визначення ефективності відповідних заходів доцільно використовувати поєднання кількісних і якісних показників. До кількісних можуть належати рівень повторних бронювань, конверсія маркетингових повідомлень, частота рекомендацій, середній рейтинг обслуговування та динаміка клієнтської лояльності. Якісні методи можуть передбачати аналіз відгуків, опитування щодо задоволеності, інтерв'ю зі споживачами та дослідження асоціацій із брендом.

Водночас зміни зазначених показників не слід автоматично трактувати як результат виключно емоційного маркетингу. На поведінку споживачів впливають ціна, транспортна доступність, сезонність, безпекова ситуація, економічні умови та інші чинники. Тому оцінювання результативності потребує комплексного аналізу.

Застосування наведених підходів створює передумови для формування маркетингової стратегії, у якій емоційна цінність туристичного продукту не відокремлюється від якості послуг, організаційної надійності та відповідального ставлення до споживача.

Висновки. Отже, емоційний маркетинг у сфері туризму і гостинності в контексті повоєнного відновлення доцільно розглядати як комплексний інструмент формування споживчої цінності, довіри до туристичної дестинації та довгострокових відносин із клієнтами. Його значення визначається здатністю підприємств ураховувати емоційні, когнітивні та соціальні аспекти споживчої поведінки, створювати змістовний туристичний досвід і підтримувати послідовну комунікацію зі споживачами.

Основними передумовами результативності емоційного маркетингу є достовірність інформації, відповідність фактичної якості послуг сформованим очікуванням, автентичність туристичного досвіду, професійність персоналу та дотримання етичних принципів взаємодії. При цьому необхідно враховувати неоднорідність споживчих потреб і не припускати, що всі туристи однаково реагують на емоційні стимули або мають ідентичні мотиви подорожей.

Для туристичних підприємств України перспективним напрямом є інтеграція емоційного маркетингу в загальну систему управління клієнтським досвідом. Це передбачає поєднання психологічно обґрунтованих маркетингових

комунікацій із розвитком туристичної інфраструктури, підвищенням якості обслуговування, підтриманням локальної ідентичності та формуванням довіри. Такий підхід створює основу для подальшого дослідження взаємозв'язку між емоційними реакціями споживачів, сприйнятою цінністю туристичного продукту, задоволеністю та поведінковими намірами.

Список використаних джерел.

1. Bastiaansen M., Lub X. D., Mitas O., Jung T. H., Ascenção M. P., Han D.-I., Moilanen T., Smit B., Strijbosch W. Emotions as core building blocks of an experience. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2019. Vol. 31, No. 2. P. 651–668. DOI: 10.1108/IJCHM-11-2017-0761. (DOI)

2. Conveying Pre-Visit Experiences Through Travel Advertisements and Their Effects on Destination Decisions. Journal of Destination Marketing & Management. Наукова публікація про вплив рекламних образів і емоційних реакцій на вибір туристичної дестинації. (ScienceDirect) .

3. Godovykh M., Tasci A. D. A. Customer experience in tourism: A review of definitions, components, and measurements. *Tourism Management Perspectives*. 2020. Vol. 35. Article 100694. DOI: 10.1016/j.tmp.2020.100694. (ScienceDirect)

4. Holbrook M. B., Hirschman E. C. The Experiential Aspects of Consumption: Consumer Fantasies, Feelings, and Fun. Journal of Consumer Research. 1982. Vol. 9, No. 2. P. 132–140. DOI: https://doi.org/10.1086/208906 .

5. Hosany S., Prayag G., Deesilatham S., Cauševic S., Odeh K. Consumer Behaviour in Tourism: Concepts, Influences and Opportunities. Current Issues in Tourism. 2015. Vol. 18, No. 8. P. 726–743. DOI: https://doi.org/10.1080/13683500.2013.850064 .

6. Hosany S., Prayag G., Deesilatham S., Cauševic S., Odeh K. The experience of emotion: Directions for tourism design. *Annals of Tourism Research*. 2021. Vol. 86. Article 103097. DOI: 10.1016/j.annals.2020.103097. (ScienceDirect)

7. Hosany S., Witham M. Dimensions of Cruisers' Experiences, Satisfaction, and Intention to Recommend. Journal of Travel Research. 2010. Vol. 49, No. 3. P. 351–364. DOI: https://doi.org/10.1177/0047287509346859 .

8. Maslow A. H. *Motivation and Personality*. New York: Harper & Row, 1954. 411 p.

9. Pine B. J. II, Gilmore J. H. Welcome to the Experience Economy. Harvard Business Review. 1998. Vol. 76, No. 4. P. 97–105.

10. Solomon M. R. *Consumer Behavior: Buying, Having, and Being*. 13th ed. Global ed. Harlow: Pearson, 2020.

11. The Role of Tourists' Emotional Experiences and Satisfaction in Understanding Behavioral Intentions. Journal of Destination Marketing & Management. 2013. Vol. 2, No. 2. P. 118–127. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2013.05.001 .

12. Tuerxunbieke T., Li S., Scott N. Customer emotion research in hospitality and tourism: conceptualization, measurements, antecedents and consequences. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2021. Vol. 33, No. 8. P. 2741–2772. DOI: 10.1108/IJCHM-11-2020-1257. (ScienceDirect)

13. Tung V. W. S., Ritchie J. R. B. Exploring the Essence of Memorable Tourism Experiences. Annals of Tourism Research. 2011. Vol. 38, No. 4. P. 1367–1386. DOI: https://doi.org/10.1016/j.annals.2011.03.009 .

CHAPTER 2. INNOVATIONS IN MODERN MEDICINE AND BIOLOGY

2.1. Egg-Laying Dynamics and Estimation of Incubation Stage in the Great Cormorant Phalacrocorax Carbo

Introduction

The timing of egg laying and the duration of incubation are important characteristics of avian reproductive biology and may vary considerably among populations and years depending on geographical location, climatic conditions, food availability, hydrological conditions and other environmental factors. In colonial waterbirds, accurate determination of the laying sequence and incubation stage is particularly important because direct observations of individual nests throughout the breeding period may be logistically difficult and may cause disturbance to breeding birds. Recent studies of Great Cormorant colonies in different regions have demonstrated substantial variation in colony distribution, breeding population size and reproductive characteristics, emphasizing the importance of regionally based studies of breeding biology (Tabeta et al., 2022; Watanabe, 2024; Umarov and Kashkarov, 2025; Arslan and Arpacık, 2026).

The Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* is a widespread colonial waterbird whose breeding phenology varies among populations and geographical regions. Recent studies from Japan, Central Asia and the Black Sea region demonstrate considerable ecological variation among colonies and breeding sites (Tabeta et al., 2022; Watanabe, 2024; Umarov and Kashkarov, 2025; Arslan and Arpacık, 2026). In the Azov–Black Sea region of Ukraine, Great Cormorants use a broad range of nesting habitats, with natural islands and lagoon systems representing important breeding sites (Sydorenko, 2025). During the breeding season, cormorants usually lay several eggs per clutch and incubation begins during the laying period, resulting in asynchronous embryo development and hatching. Behavioural observations also demonstrate that breeding activity changes during the reproductive cycle, with distinct behaviours associated with courtship, nest building, nest relief and chick rearing (Mäkelin et al., 2021).

One approach to determining the incubation stage of bird eggs is based on changes in egg physical properties during embryonic development. As incubation progresses, water loss through the eggshell results in a gradual reduction in egg mass and changes in egg specific gravity. Establishing the initial specific gravity of freshly laid eggs and the average daily decrease in this parameter can therefore provide a basis for retrospective estimation of incubation stage. Estimation of incubation stage is an important component of reconstructing nest initiation and expected hatching dates when direct observations are incomplete (Barnas, 2025). Such indirect approaches are particularly useful in colonial species for which continuous monitoring of individual nests is difficult.

The timing of avian breeding is also sensitive to environmental conditions. Recent comparative studies have demonstrated that spring temperature can influence breeding phenology, although the magnitude and direction of responses vary among species and populations (Messmer et al., 2021; Neate-Clegg et al., 2024). Earlier breeding under

warmer conditions has been documented across numerous bird populations, but temperature is not necessarily the only environmental cue involved. Breeding phenology may also depend on migration timing, food availability and the timing of other ecological processes (Lonero et al., 2024; Nightingale et al., 2024). Therefore, comparisons between temperature conditions and breeding dates should be interpreted primarily as temporal associations unless supported by formal statistical analyses.

The present study aimed to determine the initial specific gravity of freshly laid Great Cormorant eggs, estimate the mean daily decrease in egg specific gravity during incubation, develop a reference scale for estimating incubation stage, and use this approach to reconstruct the temporal dynamics of egg laying in a breeding colony on the Obytichna Spit in the Azov Sea region of Ukraine. Particular attention was also given to interannual variation in breeding phenology and its temporal correspondence with air temperature during the period preceding reproduction.

Materials and Methods

Study area and material

The study was conducted in a Great Cormorant breeding colony on the Obytichna Spit in the Azov Sea region of Ukraine. The Obytichna Spit is part of the Azov–Black Sea wetland complex and supports colonial waterbirds. Great Cormorants occupy a variety of nesting habitats throughout this region, including marine and lagoon islands (Sydorenko, 2025).

Field observations and measurements covered several breeding seasons, with detailed material used to reconstruct egg-laying dynamics for 2014–2017 and additional observations from 2011. The colony was examined mainly during the period of active egg laying, from late March to early April. A total of 1,840 eggs were subsequently used for reconstruction of laying dynamics in 2014–2017.

Determination of initial egg specific gravity

Egg specific gravity was used as an indirect indicator of incubation stage. To establish the initial value of this parameter, nests containing a single egg were initially considered to contain freshly laid eggs. This assumption was subsequently supported by the calculated specific-gravity values, which were highest in this group. A total of 48 nests containing one egg were examined.

Because the average clutch size of the Great Cormorant in the studied and neighbouring populations approaches four eggs, clutches containing two or three eggs were regarded as incomplete. The mean clutch size in the available material was 3.81 ± 0.39 eggs (n = 3,436; range 3.1–4.27; CV = 10.34%) (Koshelev and Pokusa, 2002; Rudenko and Yaremenko, 2004; Lebedeva et al., 2008). Accordingly, in clutches containing two or three eggs, the egg with the highest specific gravity was considered to be the freshest. There were 92 two-egg clutches and 282 three-egg clutches.

Eggs with specific gravity values substantially below 1.0 and considerably lower than the mean value established for freshly laid eggs (1.07746 g cm^{-3}) were excluded from the calculation of the initial value because their low values indicated that they had already undergone a certain degree of incubation.

Thus, 149 eggs were classified as freshly laid. Their mean specific gravity was used as the initial reference value. The mean specific gravity of eggs in clutches of different sizes was then compared to characterize the decrease in specific gravity during incubation.

Estimation of the mean daily decrease in egg specific gravity

To estimate the mean daily decrease in egg specific gravity, differences between sequentially ranked values within clutches were calculated, assuming that eggs were laid at approximately daily intervals and that incubation generally began with the first egg. The resulting estimate was combined with the initial specific gravity to construct a reference scale corresponding to successive incubation days.

A total of 897 measurements from 423 nests were used for this calculation. Importantly, the resulting parameter represents a **mean daily decrease in egg specific gravity**, rather than daily loss of egg mass, because it was calculated from differences in specific gravity.

The calculated incubation stage was subsequently used to estimate the probable laying date of individual eggs. This approach allowed reconstruction of the temporal pattern of egg laying in the colony for individual years.

Estimation of incubation stage from egg characteristics is particularly useful when the exact laying date is unknown; however, such indirect methods should be interpreted as estimates because egg properties and incubation conditions may vary among individuals (Barnas, 2025).

Reconstruction of egg-laying dynamics

The reference scale was applied to eggs collected or examined during 2014–2017. The calculated incubation stage was converted into a probable laying date for each egg. Egg-laying dynamics were summarized by calendar dates and by five-day periods (pentads), following the approach of Berthold (1973).

Temperature data

Air-temperature data for the period preceding reproduction were used to compare interannual variation in breeding phenology with pre-breeding thermal conditions. Mean daily temperatures for February–March were compared among 2011 and 2014–2017. Particular attention was given to the date of the persistent transition of mean daily air temperature above 0 °C.

The temperature analysis was descriptive and comparative. No formal regression or correlation analysis was conducted because of the limited number of breeding seasons. Consequently, the results are interpreted as temporal correspondence rather than as evidence of a causal or statistically demonstrated relationship. This approach is consistent with recent studies showing that temperature can influence avian breeding phenology while responses remain species- and population-specific (Messmer et al., 2021; Neate-Clegg et al., 2024; Lonero et al., 2024).

Results

Initial specific gravity and its dynamics during incubation

The initial specific gravity of freshly laid eggs was estimated at 1.07746 ± 0.03 g cm^{-3}. The analysis of eggs from clutches of different sizes, shown in Table 1,

demonstrated a progressive decrease in specific gravity as the number of eggs in a clutch increased, reflecting increasing incubation duration.

Table 1. Specific gravity of Great Cormorant eggs in clutches of different sizes

Clutch size	n	Mean ± SD, g cm^{-3}	Min	Max	CV, %
Fresh eggs	149	1.07746 ± 0.03	1.02584	1.28667	2.87
1	48	1.06503 ± 0.06	0.90252	1.28667	5.19
2	92	1.05812 ± 0.05	0.66419	1.12757	4.86
3	282	1.02753 ± 0.08	0.29579	1.17230	7.76
4	616	1.01959 ± 0.04	0.81572	1.15239	3.95
5	185	1.01157 ± 0.04	0.90634	1.11387	4.01
Total	**1,372**				

The decrease in specific gravity was not uniform throughout incubation. During the earliest stages, represented mainly by nests containing one or two eggs, the decrease was relatively small. Following the laying of the second and subsequent eggs, the difference became more pronounced.

The observed pattern is consistent with the biology of Great Cormorant incubation. Cormorants generally begin incubating during the egg-laying period, which produces differences in embryo development and subsequently asynchronous hatching. Recent behavioural observations of Great Cormorants likewise demonstrate distinct breeding behaviours throughout the reproductive cycle, including nest building, nest relief and chick-related behaviours (Mäkelin et al., 2021).

At the same time, observations in the studied colony revealed a possible deviation from this general pattern. Some nests containing a single egg were found without an adult present, and the eggs were completely cold. Under warm weather conditions, this could not readily be explained by a bird having only recently left the nest. Subsequently, these nests developed into complete clutches. This observation suggests that, in at least some cases, incubation may begin with the second egg rather than with the first. This possibility should therefore be considered when interpreting the relationship between clutch size and egg specific gravity.

Mean daily decrease in egg specific gravity

The dynamics of specific gravity demonstrated that this parameter can be used to characterize the incubation condition of eggs and estimate their degree of incubation. Assuming approximately daily egg laying and incubation beginning with the first egg, the mean daily decrease in egg specific gravity was calculated from differences between consecutively ranked eggs.

A total of 897 measurements from 423 nests were used for this calculation. The estimated mean daily decrease was **0.006117 ± 0.005 g cm^{-3} day^{-1}** with a range of 0.00007–0.026975 g cm^{-3} day^{-1} and a coefficient of variation of 68.34%.

The high coefficient of variation indicates substantial individual and/or temporal variability in the rate of decrease in egg specific gravity. Nevertheless, the calculated mean provides a practical reference value for estimating incubation stage. The result also refines earlier estimates obtained for Great Cormorants in the region (Gorlov et al., 2015).

The combination of the initial specific gravity of freshly laid eggs and the average daily decrease makes it possible to calculate an expected specific gravity for each successive incubation day.

Reference scale for determining incubation stage

Using an initial specific gravity of 1.07746 g cm^{-3} and the measured mean daily decrease of 0.006117 g cm^{-3} day^{-1}, a reference scale was constructed for estimating incubation stage. For consistency with the rounded values displayed in the scale, the tabulated values correspond to a rounded daily decrease of **0.00612 g cm^{-3} day^{-1}**:

$$\mathbf{SG_t = 1.07746 - 0.00612 \times t}$$

where SG_t is the estimated egg specific gravity on incubation day t.

Table 2. Calculated egg specific gravity and corresponding incubation day

Incubation day	Specific gravity, g cm^{-3}	Incubation day	Specific gravity, g cm^{-3}	Incubation day	Specific gravity, g cm^{-3}
0	1.07746	11	1.01014	21	0.94894
1	1.07134	12	1.00402	22	0.94282
2	1.06522	13	0.99790	23	0.93670
3	1.05910	14	0.99178	24	0.93058
4	1.05298	15	0.98566	25	0.92446
5	1.04686	16	0.97954	26	0.91834
6	1.04074	17	0.97342	27	0.91222
7	1.03462	18	0.96730	28	0.90610
8	1.02850	19	0.96118	29	0.89998
9	1.02238	20	0.95506	30	0.89386
10	1.01626				

The reference scale was based on 1,295 eggs from 460 nests. It provides a practical means of converting measured specific gravity into an approximate incubation day. Given the variability in egg specific gravity and the uncertainty associated with laying sequence and onset of incubation, the calculated incubation day should be interpreted as an estimate rather than as an exact determination of embryonic age.

Reconstruction of egg-laying dynamics

Application of the specific-gravity scale made it possible to estimate the incubation stage for 1,840 eggs and, consequently, reconstruct their probable laying dates. These calculations were used to characterize the dynamics of egg laying in 2014–2017 by calendar dates and by five-day periods (pentads), following the approach of Berthold (1973) (Fig. 1).

The timing of egg laying varied between years. In 2015, more than 60% of the eggs were estimated to have been laid between 12 and 21 March. In 2016, the main laying period shifted to 21 March–1 April, whereas in 2017 most eggs were laid between 22 March and 2 April.

These differences demonstrate considerable interannual variability in the onset and intensity of egg laying. Similar variability in Great Cormorant breeding populations has been documented in recent regional and long-term studies, including changes in colony distribution and population size in Japan and newly documented

breeding colonies in Central Asia (Tabeta et al., 2022; Watanabe, 2024; Umarov and Kashkarov, 2025).

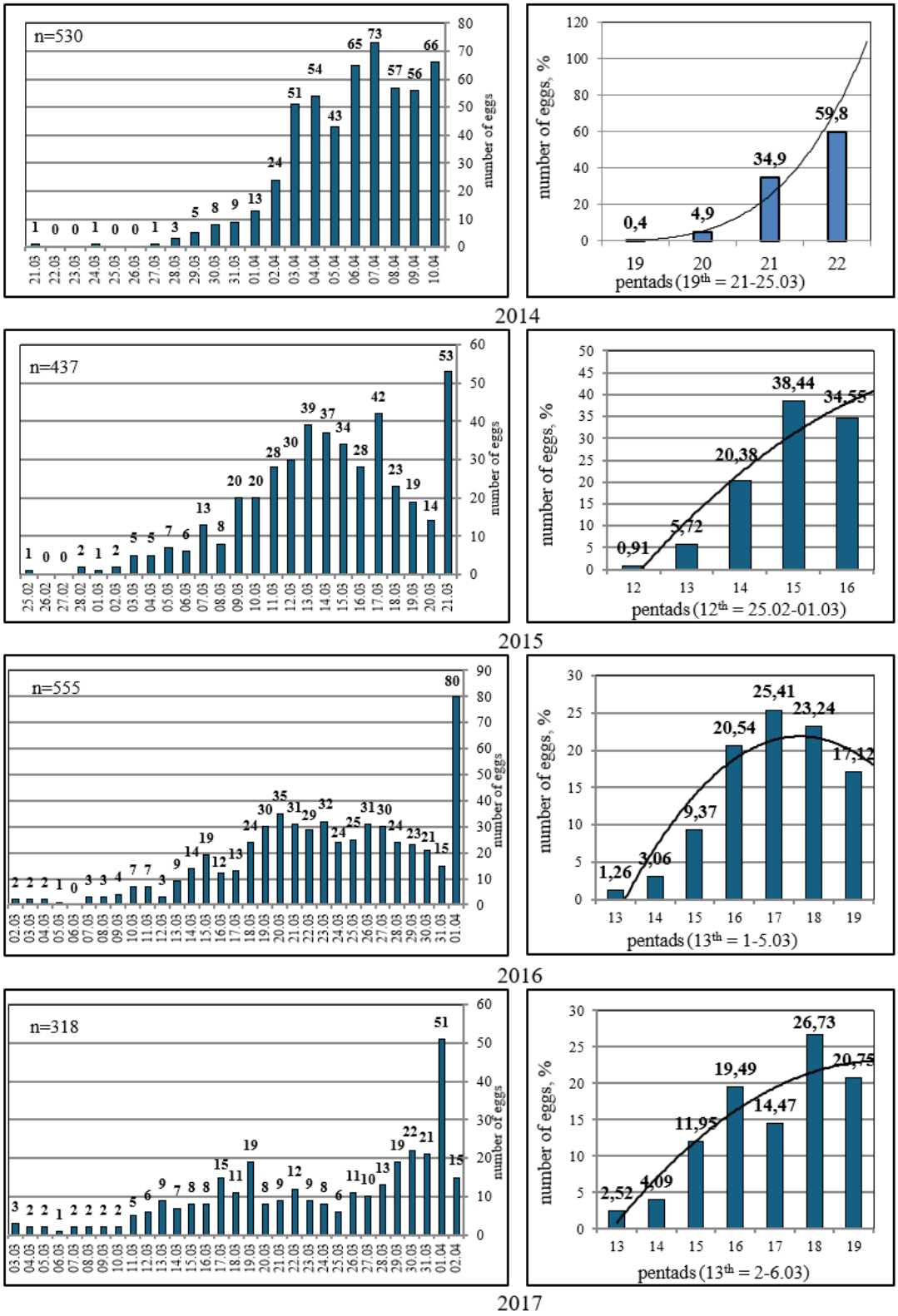


Fig. 1. Dynamics of egg-laying by the Great Cormorant in 2014–2017: daily (left) and by pentads (right; pentads according to Berthold, 1973)

Earliest breeding dates and comparison with other colonies

Additional observations provide evidence of relatively early breeding at Obytichna Spit.

During a survey conducted on 23 March 2011, five-egg clutches were recorded in five nests (5 of 134 nests; 3.7%), while four-egg clutches occurred in nine nests (6.7%). At the same time, newly constructed but still empty nesting platforms predominated. The presence of relatively advanced clutches indicates that the first pairs had started breeding at least 4–5 days before the survey, approximately on 18–19 March.

In 2014, calculations indicated that the most advanced clutches had been laid around 21 March. However, during a survey on 10 April 2014, four nests contained chicks ranging from one day old to approximately 5–7 days old. Considering an average incubation period of approximately 28 days and adding the age of the oldest chick, the onset of breeding in 2014 can be estimated to have occurred around 6–8 March.

The available observations did not cover the entire reproductive period. Consequently, the exact earliest and latest laying dates could not be established, and the median laying date for the entire colony could not be calculated. Nevertheless, the available data indicate that egg laying was still in progress on 10 April 2014.

The relatively early onset of breeding observed at Obytichna Spit corresponds to the general pattern known for Great Cormorants in the Azov–Black Sea region. Recent regional research confirms the continuing importance and ecological diversity of Great Cormorant colonies in Ukraine, including colonies associated with islands and lagoon systems (Sydorenko, 2025). Comparable reproductive variation is also evident in other Black Sea populations. For example, recent work on Giresun Island in Türkiye followed 525 Great Cormorant nests during 2022–2023 and documented substantial reproductive output, demonstrating the continued importance of Black Sea colonies for studies of the species' breeding biology (Arslan and Arpacık, 2026).

On 13 February 2014, a flock of 14 Great Cormorants was recorded over the sea near the village of Botieve, approximately 27 km from Obytichna Spit. A similar early date (12 February 2014) was reported for Kriva Spit, approximately 150 km to the northeast (Molodan et al., 2016). At that time, the Azov Sea was almost completely covered by ice, while large areas of open water remained in Obytichna Bay.

Published data for other colonies indicate substantial geographical and interannual differences in the timing of reproduction. In the Black Sea Biosphere Reserve, the mean date of first egg laying over a 13-year period (1989–2001) was approximately 28 March (Rudenko and Yaremenko, 2004). On the Lebedyni Islands, breeding generally begins in early March, while one of the earliest recorded breeding attempts occurred on 26 February 1978 (Kostin and Tarina, 2004). At the Kriva Spit colony in Donetsk Oblast, the first nests containing eggs were recorded on 16 March 2010 (Molodan et al., 2016).

Temperature conditions and onset of breeding

The timing of reproduction in birds is frequently associated with environmental conditions preceding the breeding season. Recent comparative studies have demonstrated that spring temperature may influence the timing of breeding, but

responses vary substantially among species and populations (Messmer et al., 2021; Neate-Clegg et al., 2024). Long-term analyses have also shown that breeding phenology may advance in response to warming, while the magnitude of phenological responses differs among taxa and locations (Neate-Clegg et al., 2024; Lonero et al., 2024).

Comparison of mean daily temperatures for February–March shows that 2011 was considerably colder than 2014–2017 (Fig. 2-3). The mean daily temperature for the period from early February to the end of March was: −0.65 °C (2011); +2.61 °C (2014); +3.87 °C (2015); +5.04 °C (2016); +3.60 °C (2017). Thus, during the four-year period from 2014 to 2017, a general tendency toward warmer pre-breeding conditions was observed.

An especially informative parameter was the date of the persistent transition of mean daily air temperature above 0 °C. This transition occurred on: 11 March 2011; 1 March 2014; 21 February 2015; 20 February 2016; 18 February 2017.

These dates corresponded temporally with the estimated dates of the beginning of egg laying in the colony: 18 March 2011; 7 March 2014; 28 February 2015; 2 March 2016; 3 March 2017.

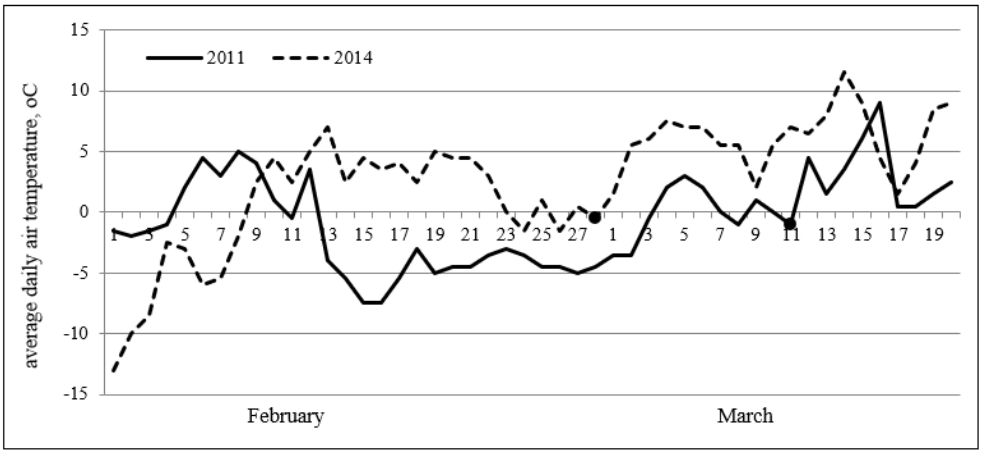


Fig. 2. Dynamics of average daily air temperatures at the Prymorsk weather station in February–March 2011 and 2014

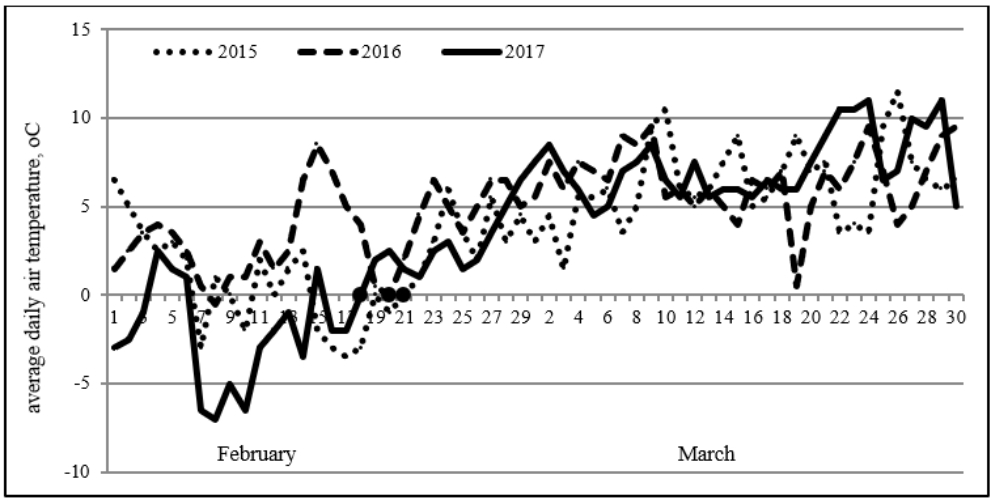


Fig. 3. Dynamics of average daily air temperatures at the Prymorsk weather station in February–March 2015–2017

The observed correspondence suggests that pre-breeding thermal conditions may contribute to interannual variation in reproductive phenology at the studied colony. However, the available data do not demonstrate a causal relationship.

Recent studies emphasize that breeding phenology is influenced by a combination of temperature, migration timing, food availability and other ecological factors. In particular, early arrival does not necessarily result in equally early nesting, demonstrating that separate components of reproductive phenology should not be assumed to be causally linked without direct evidence (Nightingale et al., 2024). Similarly, temperature sensitivity of breeding phenology can vary among populations and reproductive traits (Messmer et al., 2021; Lonero et al., 2024).

Food availability, hydrological conditions, spring migration, physiological condition of birds and other ecological factors may therefore also contribute to interannual variation in the onset of breeding.

Discussion

The results demonstrate that egg specific gravity can serve as a useful indirect indicator of incubation stage in the Great Cormorant. The gradual decline in specific gravity observed across clutches of different sizes reflects changes in egg properties during embryonic development. Establishing an initial value for freshly laid eggs and an average daily decrease provides an opportunity to estimate the approximate incubation age of eggs when direct observations of laying dates are unavailable.

The estimated initial specific gravity of 1.07746 g cm^{-3} and the measured mean daily decrease of 0.006117 ± 0.005 g cm^{-3} day^{-1} allowed the construction of a practical reference scale covering approximately 30 days of incubation. This is particularly useful for field studies of colonial species, where repeated direct observations of individual nests throughout the entire laying period may be logistically difficult or may disturb breeding birds. The general importance of indirect approaches to estimating incubation stage is well established in avian field studies, although the accuracy of any particular method depends on species-specific egg characteristics and assumptions (Barnas, 2025).

The substantial coefficient of variation in the daily decrease in specific gravity (68.34%) indicates that the method has inherent limitations. The calculated incubation day should therefore be considered an approximation. Individual eggs may differ in shell characteristics, water loss, developmental rate and incubation conditions. In addition, the assumption of approximately daily egg laying may not always be strictly valid, and the observation that some nests may begin incubation only after the second egg further complicates the interpretation of specific-gravity values.

The latter observation is especially important for Great Cormorants because asynchronous development is a normal feature of colonial breeding in the species. Recent behavioural research has demonstrated that breeding activities vary throughout the nesting cycle, including nest building, nest relief and chick-related behaviour (Mäkelin et al., 2021). Thus, the assumption that every clutch begins incubation with the first egg should be regarded as a working model rather than an absolute rule.

The method nevertheless provides a useful retrospective tool for reconstructing breeding phenology. In the present study, it enabled estimation of laying dates for 1,840

eggs and demonstrated clear differences among years. The shift in the main egg-laying period between 2015, 2016 and 2017 coincided with differences in the temperature regime preceding reproduction.

The observed interannual variation is consistent with broader evidence that avian breeding phenology responds to environmental variation. Experimental and observational studies have demonstrated that spring temperature can affect the timing of reproduction, but the strength of this response varies among species and between early- and late-nesting species (Messmer et al., 2021). Large-scale analyses likewise indicate that changes in breeding phenology represent an important component of avian responses to changing temperature regimes (Neate-Clegg et al., 2024). However, climate effects on reproduction are not necessarily uniformly positive or negative. A global meta-analysis found substantial variation among bird populations in changes in offspring production associated with climate change, with migratory and larger-bodied species potentially being particularly vulnerable to warming (Halupka et al., 2023).

The comparison of temperature and laying dates in the present study is therefore best interpreted as evidence of temporal correspondence. The coldest pre-breeding conditions were recorded in 2011, when the persistent transition of mean daily temperature above 0 °C occurred substantially later than in subsequent years. Correspondingly, the estimated onset of egg laying was also later. In contrast, warmer conditions observed in 2014–2017 coincided with earlier breeding.

This pattern is compatible with the hypothesis that temperature may act as one environmental cue contributing to the onset of reproduction in the studied population. However, the relationship should not be interpreted as a simple linear dependence. The available observations cover only a limited number of breeding seasons, and the study did not include a complete set of potentially influential environmental variables. Moreover, recent research has shown that early arrival and early nesting are not necessarily equivalent components of breeding phenology (Nightingale et al., 2024), while temperature sensitivity itself can vary among populations and reproductive parameters (Lonero et al., 2024).

The regional context also supports the value of continuing detailed monitoring of Great Cormorant colonies. Recent studies have documented changes in colony distribution and abundance in Japan (Tabeta et al., 2022; Watanabe, 2024), the establishment and description of a new breeding colony in Uzbekistan (Umarov and Kashkarov, 2025), and considerable diversity in nesting habitats in the Azov–Black Sea region of Ukraine (Sydorenko, 2025). Recent data from the eastern Black Sea further demonstrate the reproductive importance of Great Cormorant colonies in the region (Arslan and Arpacık, 2026).

Further long-term observations combining egg specific gravity, direct observations of laying, food availability, hydrological conditions, migration phenology and meteorological parameters would allow the mechanisms underlying interannual variation in Great Cormorant breeding phenology to be assessed more accurately.

Conclusions

The study demonstrated that egg specific gravity is a practical indirect indicator of incubation stage in the Great Cormorant. The initial specific gravity of freshly laid eggs was estimated at 1.07746 g cm^{-3}, while the mean daily decrease in egg specific gravity was 0.006117 ± 0.005 g cm^{-3} day^{-1}.

Based on these parameters, a reference scale was developed for estimating the approximate incubation stage of eggs over a 30-day period. For the tabulated scale, a rounded daily decrease of 0.00612 g cm^{-3} day^{-1} was used.

Analysis of 897 measurements from 423 nests and subsequent reconstruction of laying dates for 1,840 eggs made it possible to characterize the dynamics of egg laying in the Obytichna Spit colony during 2014–2017. The main laying period varied among years, indicating substantial interannual variability in breeding phenology.

The results also indicate a close temporal correspondence between the pre-breeding temperature regime and the onset of egg laying. The colder conditions observed in 2011 coincided with a later onset of reproduction, whereas warmer conditions in 2014–2017 coincided with earlier breeding. However, because only a limited number of breeding seasons were available and no formal statistical analysis of the temperature–phenology relationship was performed, these observations should not be interpreted as evidence of a causal relationship.

The proposed method can be used for retrospective reconstruction of breeding phenology in Great Cormorant colonies when direct observations of egg laying are incomplete. However, because of substantial individual variation in egg specific gravity and possible differences in the onset of incubation within clutches, estimates based on specific gravity should be regarded as approximate and interpreted together with direct field observations.

References

Arslan, Y.C., Arpacık, A. (2026). Breeding success of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*), European Shag (*Gulosus aristotelis*) and Yellow-legged Gull (*Larus michahellis*) on Giresun Island, Türkiye. *Acta Zoologica Bulgarica*, 78(2), 195–207. https://doi.org/10.71424/azb78.2.003000.

Barnas, A. (2025). Flotation vs. Floatation: Terminology related to methods for aging gamebird eggs. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 106(4), e70038. https://doi.org/10.1002/bes2.70038.

Becker, P.H., Finck, P., Anlauf, A. (1985). Rainfall preceding egg-laying – a factor of breeding success in Common Terns (*Sterna hirundo*). *Oecologia*, 65(3), 431–436. https://doi.org/10.1007/BF00378919.

Berthold, P. (1973). Proposals for the standardization of the presentation of data of annual events, especially of migration data. *Auspicium*, 5(Suppl.), 49–57.

Gorlov, P.I., Siokhin, V.D., Kostiushyn, V.A. (2015). Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) on the Obytichna Spit of the Azov Sea. *Bulletin of Zaporizhia National University. Biological Sciences*, 2, 33–69.

Halupka, L., et al. (2023). The effect of climate change on avian offspring production: A global meta-analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the*

United States of America, 120(19), e2208389120. https://doi.org/10.1073/pnas.2208389120.

Koshelev, A.I., Pokusa, R.V. (2002). Breeding biology of the Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) and use of oomorphological indicators for analysing terrestrial colonies in Northern Pryazovya. *Bulletin of Zaporizhia State University. Biological Sciences*, 3, 113–119.

Kostin, Yu.V., Tarina, N.A. (2004). Distribution and breeding biology of Pelecaniformes and Ciconiiformes on the Lebedyni Islands and adjacent territories. *Branta*, 7, 82–111.

Lebedeva, N.V., Lomadze, N.H., Savitsky, R.M. (2008). Great Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* in Ciscaucasia. *Branta*, 11, 159–168.

Lonero, I., Eddowes, M.J., Burgess, M.D., Pearce-Higgins, J.W., Phillimore, A.B. (2024). Temperature sensitivity of breeding phenology and reproductive output of the Common Redstart (*Phoenicurus phoenicurus*). *Ibis*. https://doi.org/10.1111/ibi.13376.

Lloyd, C.S. (1979). Factors affecting breeding of Razorbills *Alca torda* on Skokholm. *Ibis*, 121, 165–176. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1979.tb04959.x.

Mäkelin, S., Wahlberg, M., Osiecka, A.N., Hermans, C., Balsby, T.J.S. (2021). Vocal behaviour of the Great Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* during the breeding season. *Bird Study*, 68(2), 211–219. https://doi.org/10.1080/00063657.2021.1987383.

Messmer, D.J., Alisauskas, R.T., Pöysä, H., Runko, P., Clark, R.G., et al. (2021). Plasticity in timing of avian breeding in response to spring temperature differs between early and late nesting species. *Scientific Reports*, 11, 5410. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84160-6.

Molodan, G.N., Bronskova, M.A., Buy, G.A. (2016). Kryva Spit. In: *Great Cormorant (Phalacrocorax carbo) in Ukraine: numbers, territorial distribution and their changes*. Zoological Bulletin, Special Issue 34, 165–171.

Neate-Clegg, M.H.C., Tonelli, B.A., Tingley, M.W. (2024). Advances in breeding phenology outpace latitudinal and elevational shifts for North American birds tracking temperature. *Nature Ecology & Evolution*, 8, 2027–2036. https://doi.org/10.1038/s41559-024-02536-z.

Nightingale, J., Gill, J.A., Gunnarsson, T.G., Rocha, A.D., Howison, R.A., Hooijmeijer, J.C.E.W., Piersma, T., Alves, J.A. (2024). Does early spring arrival lead to early nesting in a migratory shorebird? Insights from remote tracking. *Ibis*, 166, 424–439. https://doi.org/10.1111/ibi.13268.

Ojanen, M., Orell, M., Väisänen, R.A. (1981). Egg size variation within passerine clutches: effects of ambient temperature and laying sequence. *Ornis Fennica*, 58(3), 93–108.

Ricklefs, R.E. (1974). Energetics of reproduction in birds. In: Paynter, R.A. Jr. (Ed.), *Avian Energetics*. Publication of the Nuttall Ornithological Club No. 15, Cambridge, Massachusetts, pp. 152–292.

Rudenko, A.G., Yaremenko, O.A. (2004). Breeding history and dynamics of colonial settlements of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) in the Black Sea Biosphere Reserve. *Branta*, 7, 193–207.

Sydorenko, A.I. (2025). Typology of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) nesting colonies in the Azov-Black Sea region of Ukraine. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 44, 95–112. https://doi.org/10.26565/2075-5457-2025-44-8.

Tabeta, T., Hokari, Y., Saito, I., Honda, R., Takahashi, M. (2022). Breeding distribution and nest number of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in Iwate Prefecture, northern Japan. *Izunuma-Uchinuma Wetland Research*, 16, 39–46. https://doi.org/10.20745/izu.16.0_39.

Umarov, S.S., Kashkarov, R.D. (2025). First registration and description of the breeding biology of the Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) in the Fergana Valley of Uzbekistan. *Acta Biologica Sinica*, 11, 809–831. https://doi.org/10.5281/zenodo.16730370.

Watanabe, Y. (2024). Changes in the distribution and abundance of the Great Cormorant in Hokkaido, Japan. *Bird Research*, 20, A11–A19. https://doi.org/10.11211/birdresearch.20.A11.

Wooller, R.D., Dunlop, J.N. (1981). Annual variation in the clutch and egg sizes of Silver Gulls, *Larus novaehollandiae*. *Australian Wildlife Research*, 8(2), 431–433. https://doi.org/10.1071/WR9810431.

2.2. Hygienic Problems of Surface Water Protection from Anthropogenic Pollution and its Use for Drinking Water Supply

ГІГІЄНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ПИТНОГО ВОДОГОСПОДАРСТВА

Забезпечення жителів України якісною питною водою є однією з ключових проблем державного значення, яка безпосередньо впливає на здоров'я людей і суттєво визначає рівень екологічної та епідеміологічної безпеки в регіонах. За кількістю водних ресурсів на одиницю площі або на одного мешканця, Україна займає одне з нижчих місць серед країн Європи. Наразі понад 70% поверхневих джерел води, з яких більшість населення отримує воду, класифікуються як забруднені або сильно забруднені. Це призводить до того, що значна частина населення споживає воду, якість якої не завжди відповідає гігієнічним стандартам. Як наслідок, це сприяє поширенню багатьох інфекційних і неінфекційних захворювань. Відставання України від розвинених країн за середньою тривалістю життя частково обумовлене споживанням неякісної питної води. Підтвердженням цього є те, що за даними ВООЗ, Україна посідає 146-те місце у світі за середньою тривалістю життя (65,98 років), а згідно з ЮНЕСКО, 95-те місце серед 122 країн за рівнем ефективного використання водних ресурсів та якістю води, придатної для споживання. [Семчук Г. М. Народу України – якісну питну воду. Водопостачання та водовідведення. 2008. Спецвипуск. С. 2–5; Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно гігієнічні аспекти. Київ : ВСВ «Медицина», 2016. 400 с.; Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й. Обґрунтування досліджень впливу водного

фактора на здоров'я населення (огляд літератури). Гігієна населених місць : зб. наук. праць. Київ, 2014. № 64. С. 67–76]

Понад 80% питного водопостачання в Україні забезпечується з поверхневих джерел, що робить екологічний стан цих джерел і якість води в них критично важливими для санітарного та епідеміологічного благополуччя населення. Останніми роками питання забезпечення жителів питною водою відповідної якості стає дедалі гострішим. Це зумовлено нерівномірним розподілом водних ресурсів по території, високою водоємністю промисловості, викликами міжнародної інтеграції, нераціональним використанням та забрудненням води, а також погіршенням стану систем водопостачання і основних гідротехнічних споруд. Багато річкових басейнів за ступенем забруднення класифікуються як забруднені або дуже забруднені. Це створює велику небезпеку для людей, адже водні ресурси, що використовуються для пиття і господарсько-побутових потреб, є одним із ключових факторів, які значно впливають на стан здоров'я населення. [Піменова М. М. Концептуальні засади удосконалення фінансового забезпечення водозбереження. Ефективна економіка. 2014. № 12. URL: http://www.economy.nayka.com.ua; Закорко О. П. Економічні аспекти управління водними ресурсами та водокористування. Раціональне використання водних ресурсів як фактор забезпечення національної безпеки України: матеріали VII Пленуму Спілки економістів України та Всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ, 2012. С. 64–71; Мандзик В. М. Проблеми та перспективи формування системи забезпечення населення якісною питною водою. Економіка природокористування і охорони довкілля. 2012. 2012. С. 138–145; Салієв Е., Сич Н. Проблемні питання водопостачання та водовідведення регіону. Управління сучасним містом. 2006. № 3–4/7–12(23–24). С. 71–80]

Однією з причин низької якості питної води є незадовільний стан як поверхневих, так і підземних джерел водопостачання населення, як централізованого, так і нецентралізованого. Моніторинг властивостей поверхневих водойм показує, що навіть зі значним зменшенням промислового виробництва в останні роки та відповідним скороченням скидів стічних вод у водойми, помітна тенденція до погіршення якості води. [Гаркавий С. І., Сало Т. Л., Чорнокозинський А. В. Екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти впливу скиду стічних вод міст на якість поверхневих вод басейну р. Дніпро. Науковий вісник національного медичного університету імені О. О. Богомольця. 2010. № 27 (Спецвипуск). С. 83–92; Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / ред.: В. К. Хільчевський, В. А. Сташук. Київ : Ніка-Центр, 2013. 255 с.]

Проблеми забруднення та охорони поверхневих і підземних вод, а також можливості та умови їх використання в питному водопостачанні, були об'єктом досліджень багатьох вітчизняних і закордонних науковців протягом років. Вплив різного хімічного складу питної води на здоров'я населення досліджували численні вчені. Серед них значний внесок зробили українські дослідники, такі як Омельянець М.І., Мудрий І.В., Сердюк А.М., Прокопов В.О., Гончарук В.В.,

Волощенко О.Г., Яцик А.В., Кондратюк В.А., Щербань М.Г. та інші. [Мудрий І. В. Токсиколого-гігієнічна оцінка синтетичних поверхнево активних речовин (огляд літератури). Современные проблемы токсикологии. 2001. № 3. С. 55–60; Сердюк А. М. Гігієнічні проблеми України на рубежі століть. Гігієнічна наука та практика на рубежі століть : матеріали XIV з'їзду гігієністів України. Дніпропетровськ, 2004. Т. 1. С. 30–33; Сердюк А. М. Гігієнічні проблеми України на рубежі століть. Гігієнічна наука та практика на рубежі століть : матеріали XIV з'їзду гігієністів України. Дніпропетровськ, 2004. Т. 1. С. 30–33]

На сьогоднішній день проблема забезпечення жителів України питною водою належної якості залишається актуальною. Це спричинено зростанням антропотехногенного забруднення поверхневих і підземних вод, які використовуються як джерела питного водопостачання. До цього додаються незадовільний санітарно-технічний стан водогінних мереж, використання застарілих технологій очищення води, відсутність санітарно-захисних зон, недостатнє очищення стічних вод промислових та комунальних об'єктів, втрата природних водозбірних площ, зменшення або зникнення лісових масивів, а також шкідливі методи ведення сільського господарства, які призводять до змиву пестицидів та інших хімікатів у водойми. [Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник для студ. ВНЗ / А. В. Яцик, Ю. М. Грищенко, Л. А. Волкова, І. А. Пащенюк. Київ : Генеза, 2007. 360 с.]

Для вибору найбільш вагомого джерела поверхневого водозабору достатньо звернутись до відкритих джерел, які зазначають, що водоресурсний потенціал України значною мірою формується басейном Дніпра та його притоками, серед яких особливе значення має річка Десна — найбільша лівобережна притока, завдовжки 1130 км (у межах України — 575 км), з площею водозбірного басейну на території країни майже 34 тис. км², що формує близько п'ятої частини річного стоку Дніпра. У басейні Десни зосереджені найбільші в Україні запаси прісних підземних вод, які слугують основним джерелом задоволення питних і господарських потреб населення прилеглих територій. [Що ми знаємо про Десну? 14 фактів. Десна БУВР. URL: https://desna-buvr.gov.ua/shcho-my-znaiemo-pro-desnu-14-faktiv/]

Практичне значення Десни для питного водопостачання найвиразніше проявляється на прикладі м. Києва, де на базі деснянської води функціонує Деснянська водопровідна станція, введена в експлуатацію в 1961 році. Проєктна потужність станції становить 1 млн 80 тис. м³ на добу, а фактична середньодобова подача коливається в межах 400–600 тис. м³. За даними, присвяченими 150-річчю київського водопроводу, у 2019 році частка деснянської води в загальному обсязі питного водопостачання Києва становила близько 66% при загальній чисельності населення міста 2,95 млн осіб (2019 р.), тоді як за пізнішими оцінками ПрАТ «Київводоканал» ця частка сягає 65–70%. Отже, орієнтовно 1,9–2,1 млн киян отримують воду, підготовлену саме з деснянської сировини — тобто більшість населення столиці. Зона обслуговування Деснянської станції охоплює всі лівобережні райони міста (Деснянський, Дніпровський, Дарницький) та частину

правобережних — Печерський, Голосіївський і Солом'янський, що підтверджено, зокрема, переліком районів, які втратили водопостачання під час аварії на станції в травні 2020 року. [Чисельність населення АРХІВ 2019 року. URL: http://kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3605&lang=1; Значення річок Дніпра і Десни у водопостачанні Києва — до 150-річчя київського водопроводу (1872–2022 роки). URL: https://www.researchgate.net/publication/361838409; Київводоканал: на Деснянській водопровідній станції сталася аварія. Українська правда, 11.05.2020. URL: https://www.pravda.com.ua/news/2020/05/11/7251172/] Таким чином, Десна забезпечує питною водою більшість лівобережної та значну частину правобережної забудови столиці, що робить її практично незамінним джерелом централізованого водопостачання й водночас створює критичну залежність майже двох мільйонів мешканців від екологічного стану лише однієї річки.

Показово, що навіть у населених пунктах, розташованих безпосередньо на Десні, централізоване питне водопостачання не завжди спирається на її поверхневі води. Так, м. Чернігів, хоча й лежить на березі Десни, забезпечується питною водою виключно з підземних джерел — Чернігівського родовища прісних вод (65 свердловин: 32 сеноман-нижньокрейдяного та 33 бучацького горизонтів) із проєктним дебітом близько 115–118 тис. м³ на добу за фактичного середньодобового підйому 44–49 тис. м³. Так само Новгород-Сіверський забезпечується водою з восьми артезіанських свердловин, а не з річки. Це узгоджується із загальною закономірністю, характерною для басейну Десни в цілому: підземні водоносні горизонти розглядаються як більш надійне і санітарно безпечне джерело питного водопостачання порівняно з поверхневими водами. [Щодо якості питної води в Чернігові. КП «Чернігівводоканал». URL: https://www.water.cn.ua/news/shchodo-yakosti-pitnoi-vodi-v-chernigovi_249]

Водночас саме ці населені пункти, не споживаючи деснянську воду, активно формують антропогенне навантаження на річку як водоприймач стічних вод — і в цьому полягає ключова асиметрія басейну: користувач (Київ) і забруднювач (міста верхньої та середньої течії) територіально розведені, а якість води, яку зрештою отримує столиця, визначається діями, на які вона впливати не може. У Чернігівській області щороку у поверхневі водні об'єкти скидається понад 76 млн м³ зворотних вод (2025 р.), з яких близько 0,96 млн м³ (5,6% обсягу стоків, що потребують очищення) — недостатньо очищені; близько 70% цього обсягу недостатньо очищених стоків припадає на підприємства житлово-комунального господарства. Негативного впливу через це зазнають, серед інших, безпосередньо річки Десна, Борзенка, Снов, Білоус, В'юниця, Удай та Іченька. [Екологічний паспорт Чернігівської області, 2025 р.]

Конкретні приклади підтверджують цю закономірність, хоча документально підтверджені дані по окремих підприємствах здебільшого історичні. За станом на 2015 рік КП «Чернігівводоканал» скидало очищені стічні води міста в р. Білоус — правобережну притоку Десни (4,26 млн м³); наявні очисні споруди міста на той час були технологічно застарілими й потребували реконструкції, а стічні води окремих промислових підприємств містили концентрації речовин, які станція не

здатна ефективно знешкодити. [Локальні очисні споруди мають бути на кожному підприємстві. Чернігівська міська рада. URL: https://chernigiv-rada.gov.ua/news/id-48655/; Аналітичний звіт про стан навколишнього природного середовища Чернігівської області, 2013. URL: https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2016/03/docs/nd_2013_druk.pdf]
Актуальний «Екологічний паспорт Чернігівської області» за 2025 рік ані Чернігівводоканал, ані підприємства безпосередньо м. Новгород-Сіверський серед основних водокористувачів-забруднювачів уже не наводить: у переліку фігурують лише комунальні підприємства менших населених пунктів цього району — КП «Вода» (с-ще Короп) та КП «Ревна» (м. Семенівка). [Екологічний паспорт Чернігівської області, 2025 р.] Це не обов'язково означає зникнення відповідного антропогенного навантаження на басейн Десни, а радше вказує на зміну переліку офіційно фіксованих джерел і потребує окремої перевірки фактичного стану очисних споруд у Новгороді-Сіверському.

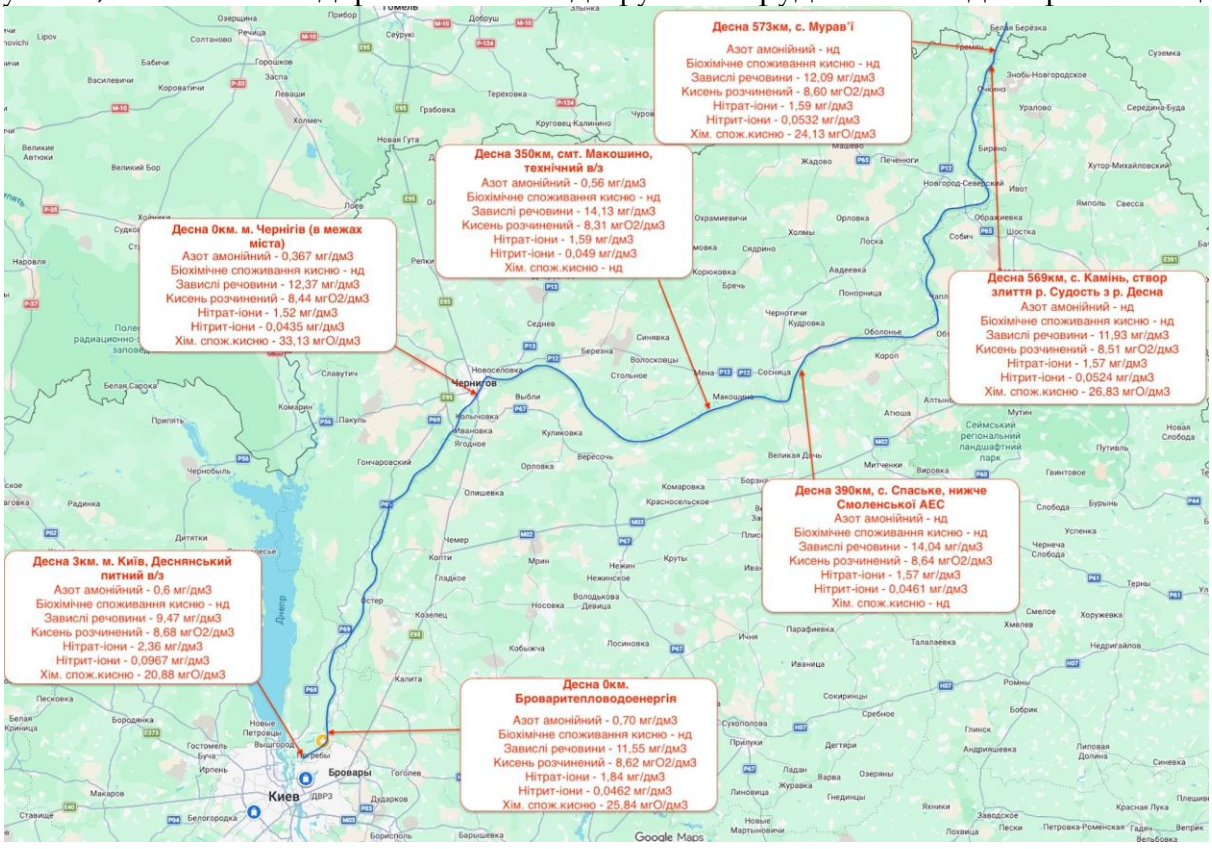
Ще одна ланка навантаження на басейн Десни формується вище за течією — у суббасейні Сейму, найбільшої притоки Десни, яка бере початок на території Росії й протікає через Сумську область. Комунальні підприємства цього суббасейну забезпечують до 86% обсягу недостатньо очищених і неочищених стічних вод: згідно офіційних даних КП ВУВКГ м. Конотоп скидає в р. Езуч до 3,0 млн м³ недостатньо очищених стоків на рік, КП «Буринь-аква» скидає в р. Чаша 0,081 млн м³, а ПП «Водо-сервіс» м. Середина-Буда — 0,049 млн м³ неочищених стічних вод у р. Бобрик. [Головні джерела забруднення басейну Десни. URL: https://pryroda.in.ua/podesinnya/ecology/dzherela-zabrudnennya/]

Наскільки реальною є ця залежність, продемонструвала техногенна катастрофа у серпні–вересні 2024 року. Внаслідок скиду неочищених технічних вод цукрового заводу в прикордонному російському Тьоткіні органічне забруднення повністю виснажило розчинений кисень у Сеймі, спричинивши масовий мор риби (виловлено понад 20 тонн загиблої іхтіофауни), а забруднена хвиля пішла далі за течією Десни, і вже на початку вересня досягла Чернігова, де також зафіксували замор риби в межах міста. Хоча ні Чернігів, ні Новгород-Сіверський не використовують деснянську воду для пиття, наступною точкою на шляху забрудненої води був водозабір Деснянської станції — джерело питної води для двох мільйонів киян. Заступник директора «Київводоканалу» публічно визнав, що в разі проходження забрудненої води через станцію альтернативні джерела (Дніпровська станція, артезіанські свердловини) здатні покрити потреби не більш ніж третини міста. [Київ має аварійні джерела забезпечення водою, створені після Чорнобильської катастрофи. LB.ua, 11.09.2024. URL: https://lb.ua/kyiv/2024/09/11/634141_kiiv_maie_avariyni_dzherela.html]

Ця подія унаочнює головний методологічний висновок для оцінки ризиків, пов'язаних із Десною: якість питної води для майже двох мільйонів мешканців Києва визначається не діями самого міста чи навіть України в цілому, а сукупністю господарської діяльності, що відбувається за сотні кілометрів вище за течією — у Сумській та Чернігівській областях, а на ділянці Сейму частково й

поза межами державного контролю України. Це створює структурну вразливість, яку неможливо усунути виключно на рівні Києва: реконструкція очисних споруд у Конотопі, Бурині, Чернігові чи Новгороді-Сіверському, посилення транскордонного моніторингу якості води на Сеймі та Десні, а також підтримання в постійній готовності резервних джерел водопостачання столиці (артезіанські свердловини, плавуча станція «Роса-300») є не окремими, а взаємопов'язаними складовими єдиної системи забезпечення санітарно-епідеміологічної безпеки країни.

Басейн річки Десна зазнає впливу як локальних, так і транскордонних джерел антропогенного навантаження. Господарський комплекс території представлений підприємствами харчової промисловості, машинобудування, енергетики, деревообробки, житлово-комунального господарства та сільськогосподарського виробництва. Найбільший внесок у формування якості вод поверхневих водних об'єктів здійснюють комунальні стічні води населених пунктів, сільськогосподарський стік та дифузне забруднення з водозбірної площі.



Результати моніторингу якості води свідчать про відносно рівномірний розподіл концентрацій основних забруднювальних речовин уздовж русла Десни. Концентрації завислих речовин змінюються в межах 9,47-14,13 мг/дм³, що характерно для річок із значною площею сільськогосподарського освоєння водозбору. Основними джерелами надходження завислих речовин є ерозія ґрунтів, поверхневий стік з орних земель та урбанізованих територій, а також процеси руйнування берегів.

Значення амонійного азоту (0,37-0,70 мг/дм³), нітратів (1,52-2,36 мг/дм³) та нітритів (0,043-0,097 мг/дм³) свідчать про переважний вплив аграрного сектору та комунального господарства. Формування цих концентрацій пов'язане із застосуванням азотних добрив, стоком із сільськогосподарських угідь, а також надходженням недостатньо очищених господарсько-побутових стічних вод.

Особливої уваги заслуговує той факт, що розчинений кисень уздовж усієї досліджуваної ділянки підтримується на рівні 8,3-8,7 мгO_2/дм³, що свідчить про загалом сприятливий кисневий режим річки та достатню здатність екосистеми до самоочищення. Показники хімічного споживання кисню коливаються від 20,88 мгО/дм³ у районі Київського водозабору до 33,13 мгО/дм³ у межах м. Чернігова, що характеризує надходження органічних речовин переважно комунального та природного походження.

Водночас слід зазначити, що у 2024 році в басейні Десни спостерігалося масштабне транскордонне забруднення органічними речовинами, яке поширювалося з території Російської Федерації вниз за течією річки. У цей період на окремих пунктах моніторингу, зокрема в районі смт Макошине, фіксувалися аномально високі значення показників споживання кисню та погіршення кисневого режиму. Однак зазначені величини мали характер разового екологічного інциденту і не відображають типового стану водних екосистем басейну Десни, тому при оцінці довгострокового антропогенного впливу їх доцільно розглядати окремо від середньорічних показників якості води.

Таким чином, сучасний екологічний стан річки Десна визначається переважно впливом агропромислового комплексу, комунального господарства великих населених пунктів (Чернігів, Бровари, Київська агломерація), а також транскордонними чинниками, які можуть періодично спричиняти суттєве погіршення якості води. Основними екологічними проблемами басейну залишаються надходження біогенних речовин із сільськогосподарських угідь, органічне забруднення комунальними стоками, замулення водотоків та ризики надзвичайних транскордонних забруднень.

В Україні важливу роль у вирішенні водної проблеми відіграють не лише великі та середні річки, але й малі. Згідно з науковими джерелами, на території країни їх налічується близько 63 тисяч, загальна довжина яких становить 186 тисяч кілометрів. З давніх часів ці річки служили водними шляхами, забезпечували населення прісною водою, рибою, водоплавними птахами, тваринами, рослинністю і енергією для млинів та інших малих технічних споруд. Малі річки мають значне природо-формуюче, санітарно-гігієнічне, рекреаційно-оздоровче та екологічне значення. Вони містять більшу частину запасів прісної води, яка широко використовується населенням. Але саме ці річки зазнають значного антропогенного впливу.

Малі річки впливають на стан гідрохімії та якості води у середніх і великих ріках, а також формують природні ландшафти великих територій. Однак на стан басейнів малих річок значно впливають регіональні ландшафтні комплекси. Протягом останніх десятиліть спостерігається зростання водокористування на

малих річках, що спричинило погіршення якості води та гідрологічного режиму. Також зросло безповоротне водоспоживання, що призводить до висихання, замулювання і навіть зникнення деяких річок.

В Україні поверхневі водні об'єкти займають 4% території держави. Показники стоку води з річок значно перевищують обсяги підземних вод і в середньому за водний рік становлять 52,4 км³. Прогнозні ресурси підземних вод оцінюються у 22,5 км³ на рік, при цьому найбільші обсяги підземних вод припадають на басейни Дніпра, Сіверського Дінця і Дністра, складаючи 82% від загального обсягу. Підземні води становлять 14,5% від загального водоспоживання в країні. Лише 8% річкових басейнів України перебувають у доброму стані, тоді як 40% оцінюються як у поганому стані, 26% – у дуже поганому і 17% – у катастрофічному. Це свідчить про те, що 80% поверхневих водних об'єктів знаходяться в незадовільному стані. [Шигонська В. С. Оцінка якості питного водопостачання населених пунктів сільських територій Житомирської області. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2012. № 2(2). С. 392–407; Прокопов В. А., Зорина О. В., Кузьминец О. Н. Централизованное питьевое водоснабжение населения Украины: Гигиенический анализ ситуации. Водопостачання та водовідведення. 2008. Спецвипуск 8. С. 18–25]

В Україні джерелами води для систем централізованого водопостачання є поверхневі води (річки, озера, водосховища) та запаси підземних вод (глибокі, міжпластові під тиском і безтискові). Річкова вода традиційно залишається основним постачальником прісної води в країні, протягом останніх 30 років на неї припадало від 78,0 до 81,6% забраної води. Екологічний стан цих водних джерел та якість води в них є визначальними факторами для санітарного та епідемічного здоров'я населення. Моніторинг стану поверхневих водойм показує, що їх екологічна ситуація досить складна. Причини включають недостатнє очищення стічних вод і промислових відходів, втрату природних водозбірних площ, зменшення або знищення лісів, а також незбалансовані методи сільського господарства, які допускають потрапляння пестицидів і хімікатів у воду. В останні роки більше 70% поверхневих джерел водопостачання за якістю віднесені до третіх і четвертих класів. Зростаюче антропогенне навантаження на водні ресурси призводить до екологічної ситуації в Україні, яку можна описати як близьку до кризової. На це неодноразово вказували в численних публікаціях.

Варто зазначити, що очисні споруди для підготовки питної води були розроблені й збудовані в 40-60-х роках минулого століття за тодішніми стандартами. Технології підготовки питної води для населення в Україні були призначені для обробки природної води до рівня питної лише тоді, коли джерело відповідає першій категорії чистоти. Наразі жодну з поверхневих водойм за рівнем забруднення, екологічним станом та основними санітарно-хімічними й мікробіологічними показниками не можна віднести до цієї категорії. [Сташук В. А. Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. Дніпропетровськ : ВАТ «Видавництво «Зоря», 2006. 480 с.; Грабовська Л. Л.,

Єфремова О. О. Оцінка екологічного ризику в сфері питного водопостачання України. Збірник наукових праць НАДПСУ. 2010. № 54. С. 58–62.]

За даними Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища у Чернігівській та Київській областях, а також зведених даних державного обліку водокористування (форма 2ТП-водгосп), басейн річки Десна відіграє визначальну роль у формуванні водогосподарського балансу північного та центрального регіонів України.

Таблиця. Динаміка водозабору та водовідведення в басейні р. Десна (Чернігівська та Київська обл., млн м³/рік)

Показник	2010 р.	2015 р.	2018 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Забір води, всього	**258,4**	**226,1**	**204,5**	**188,2**	**182,6**	**164,1**	**171,8**
з них ДВС м. Києва	185,2	168,4	156,0	148,5	145,2	134,0	138,5
Чернігівська обл. (усі джерела)	73,2	57,7	48,5	39,7	37,4	30,1	33,3
Скид зворотних вод, всього	**128,6**	**112,4**	**98,2**	**91,5**	**88,0**	**74,5**	**78,2**
з них недостатньо очищених	18,4	15,1	12,3	10,8	9,9	11,4	10,6
частка стоків ЖКГ у недоочищених (%)	96%	98%	98,5%	99,1%	99,0%	99,2%	99,0%

Згідно з науковими даними, в Україні нині вода з поверхневих джерел не відповідає стандартам, які при існуючому технологічному рівні водопідготовки забезпечують одержання якісної питної води. Протягом останніх десяти років водозабір із поверхневих джерел скоротився більш ніж у два рази. Це пов'язано зі спадом виробництва та кризою в сільському та меліоративному господарствах. За цей час обсяги використання води для зрошення зменшились на 84%, свіжої води для виробничих потреб — на 60%, а обсяги води для господарсько-питних потреб скоротились на 44,4%. Незважаючи на зменшення обсягів використаної води, щорічна потреба населення та економіки у водних ресурсах залишається досить високою — близько 15–16 мільярдів кубометрів. При цьому антропогенне навантаження на водні ресурси залишається значним і проявляється у забрудненні, виснаженні та деградації, особливо в районах з високою концентрацією промислових і сільськогосподарських підприємств. Усі поверхневі водойми в місцях забору води для пиття характеризуються схожими забруднювачами: синтетичні поверхнево-активні речовини, пестициди, нафтопродукти, феноли тощо. Незадовільний стан має і підземна вода, яка за роки експлуатації значно погіршилася: лише 57% джерел відповідають вимогам першого класу за ДСТУ 4808:2007, 36% — другого класу, а 7% — третього класу. Майже половина підземної води, що постачається через водогони, не відповідає чинному стандарту через високий вміст заліза, солей жорсткості, загальної мінералізації, марганцю, фтору і азотних сполук, зокрема нітратів. Ці фактори роблять воду непридатною для споживання, хоча багато регіонів змушені її використовувати для централізованого водопостачання. Оскільки часто ці джерела є єдиними доступними, необхідні нові технології кондиціонування води, які поки що відсутні в Україні.

За результатами моніторингу якості води в пунктах на р. Десна (0 км — Бровари, м. Чернігів, с. Жукин, смт Макошине, с. Камінь, с. Мурав'ї та ін.), р. Сейм і р. Снов (2010–2025 рр.) встановлено наступне.

Розчинений кисень. Уздовж основної течії Десни середньорічні значення становлять 8,3–8,7 мгO_2/дм³ (діапазон 6,5–12,8 мгO_2/дм³), що відповідає сприятливому кисневому режиму та свідчить про достатню здатність екосистеми до самоочищення. У 2024 р. під час транскордонного забруднення (Сейм → Десна) на окремих пунктах (смт Макошине, ділянки нижче злиття) фіксувалися критичні зниження (до 0,2–1,5 мгO_2/дм³), що супроводжувалося масовим замором риби. За нормативними вимогами (не менше 4 мгO_2/дм³ для господарсько-питного водокористування) більшість вимірювань відповідають нормам, за винятком аварійних епізодів 2024 р.

Хімічне споживання кисню (ХСК). Середньорічні значення коливаються від 20,9 мгО/дм³ (район Київського водозабору) до 33,1 мгО/дм³ (межі м. Чернігова). У 2024 р. на Сеймі та нижніх ділянках Десни зафіксовано аномальні піки (до 90–168 мгО/дм³), пов'язані з органічним забрудненням. ГДК для поверхневих вод господарсько-питного призначення (орієнтовно 30 мгО/дм³) перевищувалося переважно під час інцидентів; у багаторічному режимі показник характеризує помірне органічне навантаження комунального та природного походження.

Біохімічне споживання кисню ($БСК_5$ / $БСК_{20}$). Типові значення $БСК_5$ — 1,5–2,5 мгO_2/дм³ (окремі максимуми до 5 мгO_2/дм³). Перевищення нормативу 3 мгO_2/дм³ спостерігалися епізодично, переважно у теплий період і в зонах впливу населених пунктів.

Завислі (суспендовані) речовини. Концентрації змінюються в межах 9,5–14,1 мг/дм³ (окремі значення до 28–40 мг/дм³ під час паводків і в 2024 р.). Основні джерела — ерозія ґрунтів, поверхневий стік з орних земель та урбанізованих територій. Перевищення орієнтовного нормативу (25 мг/дм³ або фон + 0,75 мг/дм³) фіксувалися локально.

Азот амонійний. Середні значення 0,37–0,70 мг/дм³ (діапазон 0,1–1,9 мг/дм³, у 2024 р. на Сеймі — до 2,5–3,0 мг/дм³). Перевищення ГДК (1,0–2,0 мгN/дм³ залежно від категорії водокористування) спостерігалися переважно в зонах впливу комунальних скидів і під час транскордонного інциденту. Формування концентрацій пов'язане із застосуванням азотних добрив, стоком із сільськогосподарських угідь та недостатньо очищеними господарсько-побутовими стічними водами.

Нітрат-іони. 1,52–2,36 мг/дм³ (окремі значення до 3–6 мг/дм³). Як правило, не перевищують ГДК (45 мг/дм³ за NO_3^- або ~10 мгN/дм³).

Нітрит-іони. 0,043–0,097 мг/дм³ (піки до 0,2–0,4 мг/дм³ у 2024 р.). Епізодичні перевищення ГДК (0,08 мг/дм³ за N-NO_2^- для рибогосподарських водойм; вищі значення для господарсько-питного).

Інші показники. Концентрації заліза загального, марганцю, важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr) у більшості випадків залишалися в межах нормативів або

мали незначні перевищення. У даних 2010–2025 рр. систематичних високих рівнів важких металів не виявлено; окремі підвищені значення можуть бути пов'язані з локальними джерелами (промисловість, змив) або впливом воєнних дій.

Таблиця перевищень ГДК (узагальнена за багаторічними даними та епізодами 2024 р.)

Показник	Типовий діапазон (мг/дм³)	ГДК (орієнт.)	Кратність перевищення (типово / max)	Можливий вплив на здоров'я
Азот амонійний	0,37–0,70 (до 3,0)	1,0–2,0	1–1,5 / 2–3	Підвищення ризику метгемоглобінемії, токсичний вплив на печінку та нирки
Нітрити	0,04–0,10 (до 0,4)	0,08–3,3	епізодично / 2–5	Утворення нітрозамінів, канцерогенний ризик
Нітрати	1,5–2,4	45 (NO_3)	відсутнє	Метгемоглобінемія (у високих дозах)
ХСК	21–33 (до 168)	~30	1–1,1 / 5–6	Органічне забруднення, погіршення органолептики, навантаження на очисні споруди
$БСК_5$	1,5–2,5	3	рідко	Аналогічно ХСК
Завислі речовини	9,5–14 (до 40)	25	рідко / 1,5	Зниження прозорості, сорбція забруднювачів
Розчинений O_2	8,3–8,7 (мін. 0,2)	≥4	рідко (аварійно)	Гіпоксія гідробіонтів, вторинне забруднення

[Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство). Щодо надання інформації : лист від 02.09.2026 № 5405/6/6/11-26 (відповідь на запит Терендія Я. В. від 28.08.2026 щодо гідрохімічного стану р. Десна та приток за 2010–2025 рр.) - Особистий архів автора].

Однією з основних причин забруднення поверхневих вод є скидання забруднених комунальних і промислових стічних вод безпосередньо у водойми та через систему міської каналізації. Іншою значною причиною є надходження забруднюючих речовин під час поверхневого стоку з забудованих територій та сільськогосподарських угідь. Серед основних джерел забруднення водних ресурсів виділяються комунальне та сільське господарство, а також хімічна, металургійна та гірничодобувна промисловість, які щорічно скидають у поверхневі води величезну кількість шкідливих речовин. Упродовж останніх 10–12 років структура зв'язку джерел забруднення з господарською діяльністю виглядає наступним чином: промисловість становить 60-65 %, сільське господарство - 16-20 %, комунальне господарство - 18-20 %, а різні розсіяні джерела забруднення - близько 1 %. Додатковий вплив на стійке забруднення поверхневих і ґрунтових вод мають недостатня лісистість та високий рівень розораності басейнів річок, який може досягати 78 %.

Додатковим фактором ризику для басейну Десни в останні роки стали наслідки воєнних дій. Руйнування або пошкодження промислових об'єктів,

мостових переходів, складів паливно-мастильних матеріалів, систем водовідведення та очисних споруд може призводити до локальних надходжень у водні об'єкти нафтопродуктів, важких металів (свинець, мідь, цинк, кадмій та ін.), сполук азоту і фосфору. Особливу небезпеку становить можливе пошкодження комунальної інфраструктури, що супроводжується скидом недостатньо очищених або неочищених стічних вод до малих річок басейну.

Навіть за відсутності значних і стійких перевищень нормативів за важкими металами (за даними моніторингу 2010–2025 рр. перевищення, як правило, незначні або відсутні) такі речовини здатні накопичуватися у донних відкладах і створювати довгострокові ризики для водних екосистем і систем питного водопостачання. Події 2024 р. (органічне забруднення Сейму) додатково продемонстрували високу вразливість транскордонної частини басейну.

На сьогодні майже всі поверхневі водні джерела досягли 3 класу якості за рівнем забруднення, а за міжнародними стандартами це відповідає 4-5 класу. При цьому, системи очисних споруд і технології очищення води залишилися незмінними протягом багатьох років. Вони вже морально застаріли, і більшість із них використовує недосконалі технології, реагенти і матеріали. Це унеможливлює ефективну очистку питної води від забруднюючих речовин, що створює значну загрозу для здоров'я людей.

Одними з найнебезпечніших компонентів, які забруднюють навколишнє середовище, є сполуки важких металів. Вони найбільше виявляються в індустріальних урбаністичних агломераціях. До переліку важких металів, за якими особливо важливо здійснювати спостереження, контроль і регулювання, входять ртуть, свинець, кадмій, хром, марганець, нікель, кобальт, ванадій, мідь, залізо, цинк і сурма. В Західному регіоні України територія Придністров'я є найбільш забрудненою цими елементами. Свинець виділяється за валовим вмістом у ґрунтах, а нормативні показники перевищені для міді. Серед досліджених хімічних елементів концентрація марганцю знаходиться близько до фонових показників.

Встановлено, що потрапляння цих металів в організм людини, навіть у незначних дозах, знижує імунітет, підвищуючи ризик інфекційних захворювань і розвиток алергій, аутоімунних та онкологічних недуг. На основі шкідливості такі метали поділяють на мало-, помірно-, високо- та надзвичайно небезпечні. Інша класифікація виділяє різні класи небезпеки для цих елементів: As, Cd, Hg, Se, Pb і Zn віднесені до I класу; B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb і Cr потрапляють до II класу; а V, W, Mn і Sr належать до III класу.

Потрапляння шкідливих сполук солей важких металів у водойми різного типу розбалансовує водні екосистеми. Ці метали можуть adsorbуватися і накопичуватися в складових водного середовища. Таким чином, вони розповсюджуються шляхом їх засвоєння гідробіонтами, кумуляцією у донних відкладеннях і з течією води.

Переважно важкі метали потрапляють в організм через воду та їжу. Вони легко всмоктуються в шлунково-кишковому тракті і транспортуються

кровоносною системою до різних органів з подальшим накопиченням або виділенням з сечею чи жовчю. Залежно від типу металу, його токсичності та концентрації, можливі гострі або хронічні отруєння. Тривале надходження невеликих доз цих речовин може викликати поступове накопичення і втрату адаптивних можливостей організму.

Зазвичай важкі метали порушують різноманітні фізіологічні процеси на різних структурних рівнях. Існує численні дослідження, які описують зв'язок між інтоксикацією такими металами та зниженням імунної відповіді. Така інтоксикація може підвищувати схильність до запальних процесів через порушення окисно-відновних реакцій.

Надмірна присутність важких металів (ВМ) має руйнівний ефект на білкові молекули, мембрани, нуклеїнові кислоти, змінюючи їх форму та структуру, що призводить до значних або повних втрат фізіологічної активності. Деякі мікроелементи, зокрема Cu, Hg, Cd, навіть у малих дозах спричиняють локальні пошкодження ДНК і можуть спровокувати розвиток онкологічних захворювань. Під впливом іонів ВМ підвищується рівень вільних радикалів в організмі, що призводить до пригнічення та виснаження антиоксидантної системи клітин.

На сьогоднішній день проведено численні дослідження, що аналізують властивості як окремих важких металів, так і їх комбінацій у різних концентраціях у навколишньому середовищі. Ці дослідження вивчають зв'язок з екологічно зумовленими захворюваннями, такими як хвороби молочної залози та кісткового мозку.

Офіційно визнано, що якість води в джерелах водопостачання України погіршується через ВМ, які через свою токсичність і здатність накопичуватися в організмах є небезпечними для біоти. Навіть одноразове забруднення водних джерел може мати тривалий хронічний вплив на екосистеми та знижувати якість питної води. ВМ є консервативними забруднювачами, що не розкладаються у трофічних ланцюгах. Вони мають мутагенну та токсичну дію, зменшують інтенсивність біохімічних процесів у водних організмів. Деякі є токсичними навіть за низьких концентрацій, тоді як важливі мікроелементи як Fe, Cu і Zn стають небезпечними за високих концентрацій.

Часто ВМ можуть проникати в підземні води, розповсюджуючись уздовж водних шляхів, і зрештою досягають водоносних горизонтів або змиваються у поверхневі води, що забруднює їх разом із прибережними ґрунтами. Антропогенними джерелами є згоряння палива, видобування корисних копалин, вихлопні гази транспорту та скидання твердих побутових відходів. Забруднення малих річок важкими металами завдає шкоду якості води у більших ріках, створюючи небезпеку для здоров’я населення. Особливо значною є проблема сумісного забруднення питної води сполуками ВМ та сполуками азоту, що разом виявляють синергетичні токсичні ефекти. Навіть у мікродозах ВМ можуть викликати небезпечні ураження чутливих анатомо-фізіологічних систем та розвиток патологій. Їх висока токсичність і біохімічна активність дозволяють віднести їх до екоцидних і біоцидних ксенобіотиків.

Свинець займає особливо важливе місце серед важких металів, оскільки є одним із найбільш токсичних для живих організмів. Він може потрапити в людський організм через повітря, воду та їжу. Свинець, також відомий під назвою плюмбум, є малопоширеним елементом і зустрічається в природі у вигляді мінералів, таких як ендогенні (галеніт PbS) та екзогенні (англезит $PbSO_4$, церусит $PbCO_3$). Розчинення цих мінералів утворює природне джерело надходження металу у поверхневі води. Підвищення концентрації плюмбуму в природному середовищі, у тому числі в поверхневих водах, пов'язане з його широким використанням у промисловості. Антропогенні джерела забруднення включають згоряння вугілля та скидання стічних вод з рудозбагачувальних фабрик, металургійних і хімічних підприємств, а також шахт. Плюмбум застосовують у виробництві водопровідних труб, фарб, акумуляторів, різних металевих виробів і хімічних препаратів. Він легко взаємодіє з основними компонентами природних вод, утворюючи важкорозчинні сполуки, такі як карбонати, сульфати, сульфіди і гідроксиди. Проте навіть невелике зниження pH середовища збільшує розчинність сполук свинцю. Ці сполуки відзначаються високою токсичністю і здатністю накопичуватися в екосистемах, а також в організмах людей і тварин, що робить їх небезпечними навіть у невеликих кількостях.

Марганець (манган) належить до головних забруднювачів прісних водойм. Цей елемент є одним із найпоширеніших у земній корі, поступаючись тільки залізу та титану. Хоча він вважається відносно нетоксичним металом, його концентрація у поверхневих водах потребує уваги. Основні джерела потрапляння марганцю у водойми включають залізомарганцеві руди, деякі інші мінерали, стічні води збагачувальних фабрик, металургійні заводи, підприємства хімічної промисловості та шахтні води. Додатково значна кількість марганцю виноситься у процесі розкладання гідробіонтів, включаючи синьо-зелені та діатомові водорості, а також вищі водні рослини. Перевищення допустимих норм концентрації цього металу у поверхневих водах Тернопільщини спостерігається у 14 разів і зумовлене наявністю марганцю у всіх гірських породах.

За інформацією ВООЗ, концентрація марганцю до 0,5 мг/л у питній воді не шкодить здоров'ю людини, хоча може надавати воді металевий присмак і викликати пофарбування тканин під час прання. Навіть при концентрації 0,02 мг/л марганець часто утворює плівку на трубах, що відшаровується у вигляді чорного осаду.

Біологічна роль марганцю значна: він бере участь у енергетичному обміні, формуванні та рості кісток, кровотворенні та згортанні крові. Цей мікроелемент важливий для макромолекулярного обміну, імунної відповіді, підтримки глюкозного гомеостазу та аденозинтрифосфату. Марганець виступає кофактором для багатьох ферментів, таких як аргіназа, фосфатаза і супероксиддисмутаза. Він має ліпотропні властивості, стимулюючи синтез жирних кислот та холестерину, активно бере участь у тканинному диханні та окисно-відновних процесах. Вплив марганцю на активність ферментів антиоксидантної системи може запобігти оксидативному стресу. Також марганець необхідний для енергетичного обміну як

частина комплексних іонів, а ще він важливий для стабілізації структури нуклеїнових кислот.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) знижують поверхневий натяг води. Вони негативно впливають на якість питної та природної води, зумовлюючи неприємний запах і присмак. Це відбувається не стільки через самі ПАР, скільки тому, що вони стабілізують запахи інших забруднюючих сполук. Ще однією небажаною властивістю ПАР є здатність утворювати піну. У цій піні концентруються самі ПАР, інші органічні забруднення та мікроорганізми, що погіршує аерацію води і сповільнює самоочищення, а також пригнічує життєдіяльність водних організмів. Коли піна осідає на берегову рослинність, це може затримувати її ріст. Це настільки важлива властивість, що за нею часто регулюють вміст ПАР у воді.

Хоча ПАР вважаються малотоксичними для людей і тварин, у високих дозах вони можуть впливати на ферментні системи, порушуючи метаболізм у печінці, нирках, шлунково-кишковому тракті, кровотворній та нервовій системах. Відомо, що ці активні хімічні сполуки руйнують живі клітини, порушуючи різноманітні біохімічні процеси.

ПАР є основними активними компонентами пральних порошків. Завдяки хімічній спорідненості з компонентами клітинних мембран людей і тварин, вони накопичуються на цих мембранах і можуть викликати порушення важливих біохімічних процесів. Доведено, що тканина печінки може затримувати аніонні ПАР, що підвищує їх проникність. Ці речовини здатні впливати на серцево-судинну систему, знижувати активність ферментів підшлункової залози, змінювати параметри електролітного балансу сечі і можуть накопичуватися в органах. Зокрема, в мозку затримується 1,9 % від загальної кількості ПАР, що проникає через шкіру, в печінці – 0,6 %. Вони можуть викликати емфізему в легенях, пошкоджувати клітини печінки, підвищувати рівень холестерину і ймовірність атеросклерозу в серці та мозку, а також порушувати передачу нервових імпульсів в нервовій системі. Проникнувши в кров, ПАР змінюють її властивості і порушують імунітет.

Експерименти на тваринах показали, що незалежно від способів попадання до організму, ПАР можуть впливати на обмін ліпідів, білків і вуглеводів та викликати алергічні реакції.

Аніонні ПАР, такі як стеарати натрію і калію, широко застосовуються в твердому і рідкому милі, косметичних засобах та миючих продуктах. Їх знаходять у шампунях, пінах для ванн і гоління, фарбах для волосся, сухих духах, дезодорантах, зубних пастах і кремах. Також використовуються як протипінні добавки в харчовій промисловості та виробництві поліолефінів, каучуків, гуми і будівельних сумішей.

Окрім вищезазначених речовин, багаторічний санітарно-гігієнічний аналіз виявив стійкі підвищені концентрації низки інших компонентів, присутність яких у джерелах питного водопостачання формує потенційні токсикологічні та органолептичні ризики:

- **Сполуки заліза загального (до 2,21 мг/дм³ при ГДК 0,3 мг/дм³):** Хронічне вживання води з підвищеним вмістом заліза сприяє накопиченню гемосидерину в тканинах печінки, підшлункової залози та нирок, підвищує ризик виникнення алергічних реакцій і порушень функцій шлунково-кишкового тракту. Крім того, залізо сприяє колонізації водопровідних мереж залізобактеріями, що спричиняє вторинне мікробіологічне обсіменіння, заростання трубопроводів, підвищення каламутності та надання воді вираженого жовто-бурого забарвлення і неприємного терпкого присмаку.
- **Сполуки марганцю (до 1,94 мг/дм³ при ГДК 0,1 мг/дм³):** Марганець належить до політропних клітинних отрут із переважним нейротоксичним впливом. Систематичне надходження концентрацій, що перевищують норму, викликає функціональні зміни в центральній нервовій системі (вегето-судинна дистонія, пригнічення когнітивних функцій, астенічний синдром). При водопідготовці марганець важко окиснюється стандартними коагулянтами, викликаючи утворення чорного нальоту на мембранах і стінках труб.
- **Нітрити та амоній:** Систематичне споживання води з дериватами неорганічного азоту становить загрозу розвитку водно-нітратної та нітритної метгемоглобінемії (особливо серед немовлят і дітей раннього віку), при якій двовалентне залізо гемоглобіну окиснюється до тривалентного з втратою здатності зв'язувати кисень, викликаючи тканинну гіпоксію. Взаємодія нітритів із вторинними амінами в кишковому тракті може приводити до синтезу висококанцерогенних N-нітрозамінів.
- **Токсикологічний синергізм важких металів (Pb, Cd, Zn):** Навіть мікроконцентрації свинцю мають виражений кумулятивний характер (депонування в кістковій тканині з періодом напіввиведення до 20–30 років). Свинець інгібує ключові ферменти синтезу гему (δ-амінолевулінатдегідратазу), вражає канальцевий апарат нирок та призводить до необоротного пригнічення інтелектуального розвитку в дітей.

У зв'язку з дедалі більшим тиском на водні ресурси та інтенсивним забрудненням джерел, з'явилася нагальна потреба у вжитті заходів для їхнього захисту та ефективного управління. До можливих дій може належати запровадження суворих норм щодо скидів шкідливих речовин, використання новітніх технологій для очищення води та підвищення рівня обізнаності громадськості про значущість збереження водних ресурсів. Вкрай важливо впроваджувати сучасні підходи до управління цими ресурсами, включаючи розробку й запровадження механізмів оплати за споживання води, стимулювання використання екологічно безпечних технологій та формування довгострокових стратегій розвитку і збереження водних систем на майбутнє.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження свідчать про те, що басейн річки Десна залишається одним із ключових джерел централізованого питного водопостачання України та забезпечує водою понад 2 млн мешканців м. Києва. Встановлено, що основний вплив на формування якості води здійснюють комунальні стічні води населених

пунктів (Чернігів, Конотоп, Буринь та ін.), дифузний сільськогосподарський стік і транскордонне надходження забруднюючих речовин із басейну річки Сейм.

Показники санітарно-хімічного моніторингу (2010–2025) засвідчили наявність підвищених концентрацій біогенних речовин (амонійний азот, нітрити) та органічного навантаження (ХСК), що відображає вплив господарської діяльності на водозбірній площі. Концентрації завислих речовин і показники хімічного споживання кисню характеризують наявність органічного навантаження на водні екосистеми. Розчинений кисень у багаторічному режимі підтримується на рівні, достатньому для самоочищення, проте аварійні транскордонні забруднення (2024 р.) спричиняють критичне зниження кисневого режиму.

Найбільшу загрозу для стабільності питного водопостачання становлять транскордонні забруднення та аварійні екологічні ситуації, які формуються у верхній частині басейну. Події 2024 року продемонстрували високу вразливість системи водозабезпечення м. Києва до зовнішніх факторів забруднення.

Отримані результати обґрунтовують необхідність:

- модернізації очисних споруд населених пунктів басейну Десни;
- посилення моніторингу якості води (зокрема транскордонного);
- розвитку басейнового принципу управління водними ресурсами;
- впровадження сучасних технологій водопідготовки;
- підтримання в готовності резервних джерел водопостачання столиці.

Ці заходи є взаємопов’язаними складовими єдиної системи забезпечення санітарно-епідеміологічної безпеки населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітичний звіт про стан навколишнього природного середовища Чернігівської області за 2013 рік. Чернігів : Чернігівська обласна державна адміністрація, 2013. URL: https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2016/03/docs/nd_2013_druk.pdf

2. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління : підручник для студ. ВНЗ / А. В. Яцик, Ю. М. Грищенко, Л. А. Волкова, І. А. Пащенюк. Київ : Генеза, 2007. 360 с.

3. Гаркавий С. І., Сало Т. Л., Чорнокозинський А. В. Екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти впливу скиду стічних вод міст на якість поверхневих вод басейну р. Дніпро. Науковий вісник Національного медичного університету імені О. О. Богомольця. 2010. № 27 (Спецвипуск). С. 83–92.

4. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / за ред. В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. Київ : Ніка-Центр, 2013. 255 с.

5. Головні джерела забруднення басейну Десни. URL: https://pryroda.in.ua/podesinnya/ecology/dzherela-zabrudnennya/

6. Грабовська Л. Л., Єфремова О. О. Оцінка екологічного ризику в сфері питного водопостачання України. Збірник наукових праць НАДПСУ. 2010. № 54. С. 58–62.

7. Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство). Щодо надання інформації : лист від 02.09.2026 № 5405/6/6/11-26 (відповідь на запит Терендія Я. В. від 28.08.2026 щодо гідрохімічного стану р. Десна та приток за 2010–2025 рр.).

8. Екологічний паспорт Чернігівської області за 2025 рік / Департамент екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації. Чернігів, 2026.

9. Закорко О. П. Економічні аспекти управління водними ресурсами та водокористування. Раціональне використання водних ресурсів як фактор забезпечення національної безпеки України : матеріали VII Пленуму Спілки економістів України та Всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ, 2012. С. 64–71.

10. Значення річок Дніпра і Десни у водопостачанні Києва – до 150-річчя київського водопроводу (1872–2022 роки). URL: https://www.researchgate.net/publication/361838409

11. Київ має аварійні джерела забезпечення водою, створені після Чорнобильської катастрофи. LB.ua. 11.09.2024. URL: https://lb.ua/kyiv/2024/09/11/634141_kiiv_maie_avariyni_dzherela.html

12. Київводоканал: на Деснянській водопровідній станції сталася аварія. Українська правда. 11.05.2020. URL: https://www.pravda.com.ua/news/2020/05/11/7251172/

13. Локальні очисні споруди мають бути на кожному підприємстві. Чернігівська міська рада. URL: https://chernigiv-rada.gov.ua/news/id-48655/

14. Мандзик В. М. Проблеми та перспективи формування системи забезпечення населення якісною питною водою. Економіка природокористування і охорони довкілля. 2012. С. 138–145.

15. Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й. Обґрунтування досліджень впливу водного фактора на здоров'я населення (огляд літератури). Гігієна населених місць : зб. наук. праць. Київ, 2014. № 64. С. 67–76.

16. Мудрий І. В. Токсиколого-гігієнічна оцінка синтетичних поверхнево активних речовин (огляд літератури). Современные проблемы токсикологии. 2001. № 3. С. 55–60.

17. Піменова М. М. Концептуальні засади удосконалення фінансового забезпечення водозбереження. Ефективна економіка. 2014. № 12. URL: http://www.economy.nayka.com.ua

18. Прокопов В. А., Зорина О. В., Кузьминец О. Н. Централизованное питьевое водоснабжение населения Украины: Гигиенический анализ ситуации. Водопостачання та водовідведення. 2008. Спецвипуск 8. С. 18–25.

19. Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Київ : ВСВ «Медицина», 2016. 400 с.

20. Салієв Е., Сич Н. Проблемні питання водопостачання та водовідведення регіону. Управління сучасним містом. 2006. № 3–4/7–12(23–24). С. 71–80.

21. Семчук Г. М. Народу України – якісну питну воду. Водопостачання та водовідведення. 2008. Спецвипуск. С. 2–5.

22. Сердюк А. М. Гігієнічні проблеми України на рубежі століть. Гігієнічна наука та практика на рубежі століть : матеріали XIV з'їзду гігієністів України. Дніпропетровськ, 2004. Т. 1. С. 30–33.

23. Сташук В. А. Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. Дніпропетровськ : ВАТ «Видавництво «Зоря», 2006. 480 с.

24. Чисельність населення. Архів 2019 року. Головне управління статистики у м. Києві. URL: http://kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3605&lang=1

25. Шигонська В. С. Оцінка якості питного водопостачання населених пунктів сільських територій Житомирської області. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2012. № 2(2). С. 392–407.

26. Що ми знаємо про Десну? 14 фактів. Десна БУВР. URL: https://desna-buvr.gov.ua/shcho-my-znaiemo-pro-desnu-14-faktiv/

27. Щодо якості питної води в Чернігові. КП «Чернігівводоканал». URL: https://www.water.cn.ua/news/shchodo-yakosti-pitnoi-vodi-v-chernigovi_249

CHAPTER 3. INNOVATIVE AND MODERN FOUNDATIONS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY

3.1. Modern Educational Technologies in Teaching Organic Chemistry in Higher Education Institutions

Modernization of higher education in Ukraine is taking place under the influence of the rapid development of information and communication technologies, the need to ensure the quality of training for specialists in the natural sciences, and the challenges posed by the full-scale war, which has forced higher education institutions to shift massively to distance and blended forms of learning. Organic chemistry, as an academic discipline, occupies a special place among the natural sciences, since mastering it requires students not only to understand chemical regularities but also to develop spatial thinking and the ability to operate with abstract models of substance structure, reaction mechanisms, and stereochemical representations. Traditional teaching methods, oriented mainly toward the reproductive learning of nomenclature and formulas, increasingly fail to meet the needs of today's students, who are accustomed to working with interactive, visually rich, and personalized content. Under these conditions, there is a growing need for the systematic implementation of modern educational technologies capable of combining scientific rigor and accessibility in presenting complex theoretical material with the development of students' research, analytical, and digital competencies.

The purpose of the article is to analyze the didactic potential of modern educational technologies – digital platforms, virtual laboratories, three-dimensional visualization and augmented reality tools, guided-inquiry, problem-based, and flipped learning models – in teaching organic chemistry in higher education institutions, and to substantiate practical recommendations for their phased implementation. In line with this purpose, the following tasks are defined: to systematize existing domestic and international experience in applying digital technologies to teaching organic chemistry; to identify the pedagogical conditions for the effective integration of these technologies into the educational process; to develop a differentiated model of their application depending on the content of course topics; and to propose a phased implementation model that takes into account the available resources of the higher education institution and effectiveness-monitoring indicators.

The scientific novelty of the study lies in systematizing disparate findings from international empirical research on organic chemistry pedagogy – guided inquiry, problem-based and flipped learning, virtual and augmented reality – within a single differentiated model adapted to the conditions and resource constraints of Ukrainian higher education in wartime. The practical significance of the work lies in developing a phased implementation roadmap for digital technologies and a system of effectiveness-monitoring indicators suitable for direct use at the level of a department or faculty of natural sciences.

The problem of digitalizing chemistry education is in the focus of attention of both domestic and international researchers. A synthesis of experience in implementing

digital educational tools in teaching chemistry in higher education institutions is presented in [1], which demonstrates the feasibility of moving from using digital tools as an auxiliary instrument to treating them as a full-fledged component of the educational environment. The issue of active learning methods specifically for organic chemistry is addressed in the lecture course [2]. The effectiveness of interactive PhET simulations for learning general chemistry is confirmed by [3], while the potential of STEAM-oriented chemistry teaching models based on ethical dilemmas is demonstrated in [4]. A systematic review of the use of learning analytics in virtual laboratories is presented in [5], and the functional capabilities of virtual STEM laboratories for natural science disciplines are described in [6]. The development of the methodological competence of future teachers of natural science disciplines through digital laboratories is discussed in [7], while the specifics of using digital tools in distance and blended learning are addressed in [8; 10]. A comprehensive set of online tools for teaching chemistry based on a systematic approach is described in [9], and the results of a meta-analysis of the impact of virtual chemistry laboratories on students' academic achievement are presented in [11]. The technological and andragogical dimensions of blended learning in higher education institutions are examined in [12], the potential of gamification as a means of increasing learning motivation is explored in [13], and experience with the Crocodile Chemistry platform in e-learning is described in [14]. A comprehensive review of modern pedagogical approaches to organizing organic chemistry laboratory courses, synthesizing the achievements of guided inquiry, problem-based learning, and blended and virtual formats, is presented in the synthesizing work [30]. However, despite the considerable number of publications on general issues of chemistry education digitalization, the specifics of applying modern educational technologies precisely in teaching organic chemistry, taking into account the particularities of the spatial structure of organic compounds and reaction mechanisms, remain insufficiently systematically developed, which determines the relevance of this study.

The foundation of the digital infrastructure of modern organic chemistry teaching is learning management platforms (Moodle, Google Classroom), which provide structured storage of lecture materials, methodological guidelines for laboratory work, test-item banks, and automated knowledge-assessment tools [1]. The use of such platforms allows instructors to organize students' step-by-step access to course topics – from the theory of organic compound structure to advanced sections on heterocyclic compound synthesis – to provide prompt feedback, and to differentiate assignments according to students' level of preparation. Of particular importance is the integration of learning-analytics modules into such platforms, which make it possible to track the dynamics of material mastery, promptly identify gaps in understanding reaction mechanisms, and adjust each student's individual learning trajectory [5; 9].

Virtual laboratories and learning simulators deserve special attention, as they can compensate for limited access to a real laboratory base, a shortage of reagents, or the danger of working with volatile and toxic organic substances. Platforms such as PhET, ChemCollective, Labster, and Crocodile Chemistry make it possible to simulate

distillation, extraction, crystallization, and multistep syntheses of organic compounds in a safe digital environment while preserving the investigative character of laboratory work [3; 14]. A notable example is a developed set of virtual inquiry-based organic chemistry experiments, in which students make the same research decisions as in a real laboratory, establishing links between reaction theory and the data obtained [17]. The use of full-fledged VR laboratories in organic chemistry, where a virtual assistant guides the student through each stage of the experiment, has proven effective primarily as a tool for ensuring the accessibility of laboratory training for students who, for objective reasons (health condition, pregnancy, military service), cannot attend classes in person [18]. A meta-analysis [11] confirms the positive effect of using virtual chemistry laboratories on students' academic achievement compared with a purely traditional format of instruction. This is especially relevant for organic chemistry, since a substantial share of classic laboratory techniques (halogenation, Grignard reactions, ester and amide synthesis) involve heightened safety requirements, making prior rehearsal of the action algorithm in a virtual environment an important stage of preparation for the real experiment.

An example of applying the guided-inquiry model in an organic chemistry laboratory course is a task involving the identification of an unknown organic compound or the components of its mixture using a set of physicochemical methods (melting/boiling point, solubility, qualitative reactions for functional groups, spectral data). Unlike a traditional "recipe-based" laboratory exercise, in which the sequence of actions is predetermined, students are given only a list of available analytical methods and a sample of the compound, while they independently determine the research plan, the sequence of method application, and the interpretation of the data obtained, consulting the instructor only when needed [29]. The use of digital resources – spectral databases, simulators of preparative separation methods, and electronic organic chemistry reference tools – substantially expands students' research capabilities within such a task, while preserving its didactic focus on developing communication skills, independent experiment planning, and teamwork, as confirmed by comparative studies of guided inquiry's effectiveness [28].

A group of technologies that is both specific to and among the most didactically significant for organic chemistry is three-dimensional molecular-structure visualization tools (Avogadro, ChemDraw, GaussView, and similar software products). Unlike inorganic chemistry, where the spatial structure of substances plays a comparatively secondary role, organic chemistry requires students to develop a solid understanding of spatial isomerism, conformational analysis, the mutual arrangement of functional groups, and the mechanisms of reactions involving the breaking and formation of covalent bonds. Static structural formulas on paper do not always allow an adequate spatial representation to form, whereas interactive three-dimensional models let students rotate a molecule, change its conformation, compare enantiomers and diastereomers, and observe animated mechanisms of substitution, addition, or elimination reactions. Using such tools together with video animations of reaction mechanisms substantially improves the level of theoretical-material mastery and builds

future specialists' stable skills in spatial chemical thinking. The role of visualization itself in mastering chemical concepts is the subject of a distinct line of research: an analysis of the cognitive mechanisms underlying the perception of three-dimensional and dynamic molecular representations shows that the ability to connect the symbolic, macroscopic, and submicroscopic levels of representing matter is a key condition for understanding organic chemistry, rather than merely an accompanying effect of "visual clarity" [20].

A logical continuation of three-dimensional visualization is augmented and virtual reality (AR/VR) technologies, which have been increasingly applied in teaching organic chemistry abroad in recent years. A study [15] using a mobile application for learning proton nuclear magnetic resonance (1H NMR) spectroscopy in organic chemistry shows that AR technologies increase student engagement and foster a better understanding of the connection between a molecule's structure and its spectral characteristics, although the effectiveness of such learning proves higher in the face-to-face format compared with the remote one. Broader possibilities of immersive technologies for chemistry learning within a digital educational environment are revealed in [16], which confirms the positive impact of VR/AR environments on the spatial thinking and learning motivation of first-year natural-science students. Despite the promise of these technologies, their widespread implementation in Ukrainian higher education institutions is currently limited by the high cost of specialized equipment and the need for additional methodological training of instructors, which positions AR/VR as a direction with significant, though not yet fully realized, didactic potential specifically for studying organic chemistry. An interesting direction for the development of this technology is its application not only within a traditional laboratory but also in field-based and eco-oriented organic chemistry courses, where virtual reality makes it possible to recreate the natural conditions of an experiment and expand the geography of students' research practice without additional travel costs [19].

An effective approach to organizing in-class work in organic chemistry is the blended and flipped learning model, in which students independently work through theoretical material (video lectures, animations of reaction mechanisms, electronic lecture notes) outside class time, while in-class sessions are devoted to solving synthetic problems, discussing pathways for the multistep synthesis of target compounds, and completing practical assignments under the instructor's guidance [8; 10; 12]. A technological and andragogical analysis of blended learning in higher education institutions shows that this model is particularly effective in crisis situations and instability, since it ensures flexibility in organizing the educational process while preserving the quality of material mastery [12]. For Ukrainian higher education, which operates under martial law, air-raid alerts, and the forced relocation of some educational institutions, blended and distance formats have become not an additional option but a necessary condition for the continuity of the organic chemistry educational process, in particular through the combination of video content, virtual laboratory work, and synchronous consultations. International experience confirms the effectiveness of this approach: the use of flipped modules in an organic chemistry

course fosters higher-order thinking skills rather than merely the memorization of factual material [21], while comparative studies record increased satisfaction and interest among students when home viewing of video lectures is thoughtfully combined with practical in-class work [22]. Also indicative is experience with the emergency mid-semester transition of part of an organic chemistry course from face-to-face to remote format: retaining an already implemented flipped-learning model substantially eased this forced transformation compared with courses that relied solely on traditional lecture delivery [23] – a particularly relevant lesson for Ukrainian institutions, which have repeatedly faced the need for rapid transitions to remote mode.

An important direction for increasing students' learning motivation in studying organic chemistry is the gamification of the educational process – the use of game elements (points, ratings, competitive tasks) within platforms such as Kahoot, Classtime, or Quizlet to reinforce the nomenclature of organic compounds, reaction classification, and types of isomerism [13]. Gamified assessment formats turn the traditionally memorization-heavy, formal naming of organic compounds into an interactive, competitive activity, which reduces students' psychological burden while increasing the retention of acquired knowledge through repeated active repetition in a game-based format.

Table 1

Main digital platforms and tools for teaching organic chemistry

Platform / tool	Type	Functional purpose
Moodle, Google Classroom	LMS	Hosting lectures, methodological materials, tests, automated knowledge assessment
PhET, Crocodile Chemistry	Simulator	Interactive modeling of chemical processes and reactions
ChemCollective, Labster	Virtual laboratory	Simulating distillation, extraction, crystallization, synthesis
Avogadro, ChemDraw, GaussView	3D visualization	Building and rotating spatial molecular models, conformational analysis
H NMR MoleculAR and similar AR apps	Augmented reality	Visualizing the link between molecular structure and spectral data
VR laboratories (NC State et al.)	Virtual reality	Full immersion in performing a laboratory experiment with a virtual assistant
Kahoot, Classtime, Quizlet	Gamification	Reinforcing nomenclature, reaction classification, types of isomerism

The practical implementation of the technologies described in teaching organic chemistry requires their differentiated application depending on the content of a specific course topic. Thus, the study of organic-compound nomenclature and classification should be accompanied by gamified trainers and interactive tests [13]; sections devoted to hydrocarbon structure, stereochemistry, and isomerism – by three-dimensional visualization tools and, where technically feasible, augmented-reality elements [15; 16]; topics related to substitution, addition, elimination, and redox reaction mechanisms – by animated simulations and video materials within a flipped-learning model; and the laboratory practicum on organic-compound synthesis – by prior rehearsal of action algorithms in virtual laboratories [3; 11; 14] before performing

the real experiment. Such a differentiated approach makes it possible to avoid the chaotic, unsystematic use of digital tools and to ensure their alignment with the didactic goals of each section of the discipline.

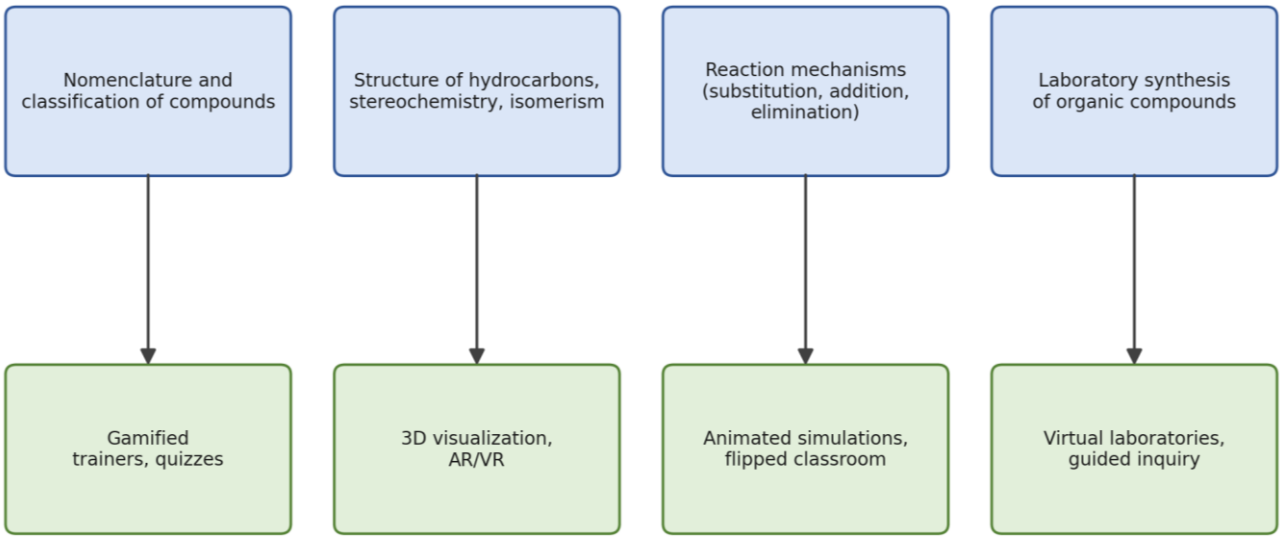


Fig. 1. Differentiated application of digital technologies depending on the organic chemistry course topic

An illustration of the comprehensive application of the technologies discussed can be the organization of study of the section "Oxygen-containing organic compounds" (alcohols, phenols, aldehydes, ketones, carboxylic acids). At the stage of preparing for an in-class session, students independently work through short video lectures and animations of the mechanisms of alcohol oxidation and esterification reactions posted on the learning management platform [1]. Directly in the practical session, the instructor organizes a discussion of the homework assignments completed and invites students to conduct a virtual laboratory experiment on the qualitative determination of functional groups in an environment similar to ChemCollective or PhET [3], after which the nomenclature of the corresponding compounds is reinforced in a gamified format [13]. Students explore the spatial structure of molecules, in particular the difference between primary, secondary, and tertiary alcohols, using three-dimensional models [5; 6], while the final assessment of topic mastery is carried out through adaptive testing with automatic analysis of typical errors. Such a cycle of "independent study – in-class session – digital assessment" makes it possible to combine the advantages of traditional in-class work with the capabilities of digital technologies and to ensure the comprehensive development of both subject-specific and digital competencies among students.

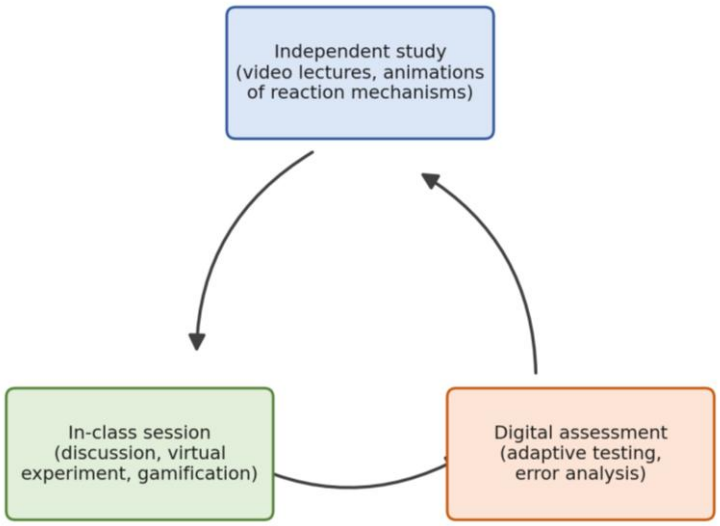


Fig. 2. Cyclical model of organizing an organic chemistry lesson based on combining independent work, in-class activity, and digital assessment

Table 2

Comparative characteristics of pedagogical models for organizing an organic chemistry laboratory course

Model	Characteristics	Results according to research findings
Traditional expository	The instructor demonstrates and explains; students reproduce a given procedure ("cookbook")	Lower indicators of soft-skills development compared with guided inquiry
Guided inquiry	Students independently make some of the research decisions within a structured task	Stronger development of communication, experiment-planning, and teamwork skills
Problem-based learning (PBL)	Learning is organized around solving a real, professionally oriented problem	Deeper critical thinking; alignment of student autonomy with departmental resources
Flipped classroom	Theory is studied at home; class time is used for practice and discussion	Development of higher-order thinking; increased course satisfaction

Particular attention should be paid to the results of comparative studies, which allow the effectiveness of various digital and methodological solutions in teaching organic chemistry to be assessed on an evidence-based rather than declarative basis. Thus, comparing the guided-inquiry approach with traditional expository teaching in an organic chemistry laboratory course showed a substantial advantage of the former in developing so-called soft skills – communication, independent experiment planning, and teamwork [28], while adapting the classic guided-inquiry method for a structural-characterization task involving a complex mixture helped students transition more smoothly from the instructional laboratory to independent research work [29]. Equally revealing are data on how the format of a laboratory session (face-to-face or remote) affects organic chemistry students' performance: a remote format of the laboratory discussion section was associated with somewhat lower results for certain groups of students compared with the face-to-face format, indicating the need for additional

methodological support specifically for remote forms of work [24]. At the same time, comparing a synchronous remote format of a laboratory demonstration with a prerecorded video showed that both options can be acceptable to students provided interactivity and the ability to ask the instructor questions in real time are preserved [25]. A generalizing meta-analysis of the effectiveness of technology-involving pedagogical innovations specifically in organic chemistry education confirms a statistically significant positive effect of such innovations on students' academic performance [31], which is consistent with the results of the individual studies cited above. Such empirical data serve as an important benchmark for Ukrainian higher education institutions when choosing a specific model for organizing distance and blended organic chemistry laboratory sessions.

Table 3

Summary of empirical research findings on the effectiveness of technologies and models for teaching organic chemistry

Author(s), year	Technology / model	Main finding	Source
Mistry, Shahid, 2021	Virtual inquiry-based experiments	Development of research decision-making comparable to a real laboratory	[17]
Williams et al., 2022	VR laboratory	Ensuring accessibility of laboratory training for diverse groups of students	[18]
Mojsoska et al., 2024	VR in an eco-oriented course	High indicators of perceived learning among students	[19]
Ward et al., 2024	AR application (1H NMR)	Increased engagement; better link between structure and spectrum	[15]
Amirbekova et al., 2024	VR/AR "metaverse"	Positive impact on spatial thinking and motivation	[16]
Holloway et al., 2024	Flipped classroom	Development of higher-order thinking	[21]
Dehghan, Horan, Frome, 2022	Flipped classroom	Increased course satisfaction and interest	[22]
Ogba et al., 2020	Emergency transition to remote format	Easier transformation when a flipped-classroom model was already in place	[23]
Szura et al., 2022	Laboratory discussion format	Modality (face-to-face/remote) linked to student performance	[24]
Petillion, McNeil, 2021	Synchronous video vs. recording	Both formats acceptable provided interactivity is preserved	[25]
Varadarajan, Ladage, 2024	Problem-based learning (review)	Systematization of PBL's theoretical foundations in the chemistry laboratory	[26]
Costantino, Barlocco, 2019	Tailored PBL	Successful adaptation of PBL to a specific department's resources	[27]
Fry et al., 2026	Guided inquiry vs. traditional	Advantage in soft-skills development	[28]
Latimer et al., 2018	Guided inquiry (structural characterization)	Smoother transition from instructional to research laboratory	[29]
Sivrikaya, Çalik, Kurt, 2026	Meta-analysis of technological innovations	Statistically significant positive effect on academic performance	[31]

An analysis of the findings presented in Table 3 makes it possible to identify common trends across the body of current research on organic chemistry pedagogy, synthesized, in particular, in the review [30]. First, almost all of the technological solutions considered – from virtual laboratories to the flipped classroom – demonstrate a positive effect primarily when combined with a well-thought-out pedagogical model, rather than as a stand-alone "technological add-on" to traditional teaching. Second, the effect of technologies is not universal: it depends on students' prior level of preparation, the availability of real-time instructor support, and opportunities for collaborative work in pairs or small groups – factors worth considering when transferring international experience to the domestic context. Third, the vast majority of the empirical studies cited were conducted in well-resourced higher education institutions in North America and Europe, whereas the question of these technologies' effectiveness under conditions of limited resources, power-supply disruptions, and the forced relocation of educational institutions – conditions typical of contemporary Ukrainian higher education – remains virtually unstudied and requires dedicated domestic empirical research.

Special attention should be paid to the potential of the technologies discussed for ensuring the inclusiveness of the organic chemistry educational process. Students with visual impairments find it more difficult to perceive the fine details of paper-based structural formulas, whereas interactive three-dimensional models with image-scaling capability expand their opportunities for independent study of the material. For students with musculoskeletal impairments or temporary mobility limitations, including those injured as a result of hostilities, virtual laboratories create an alternative, no less substantive way of completing the laboratory practicum without physical presence in a chemistry laboratory with its specific safety requirements [18]. Taking this inclusive dimension of digitalization into account appears to be a promising direction warranting a dedicated empirical study in the Ukrainian context.

A promising direction for activating students' independent research activity is project-based and case-oriented learning, within which students work on tasks close to real-world problems involving the synthesis of target organic compounds while adhering to the principles of green chemistry – minimizing waste, using safer solvents, and applying energy-saving synthesis methods. The theoretical foundation of this approach is synthesized in a comprehensive literature review on problem-based learning in chemistry laboratory courses [26], while the practical implementation of a tailored problem-based learning model specifically in an organic chemistry laboratory course – using the example of the discipline "Synthesis and Isolation of Medicinal Substances" – is described in detail in [27], where teaching materials, the laboratory notebook, and the assessment system were specifically adapted to align the degree of student autonomy with the department's available resources. The use of digital platforms for collaborative project work (shared documents, virtual whiteboards, task-management systems) makes it possible to organize teamwork among students on multistep synthetic tasks even under distance learning, while also developing skills in scientific communication, team interaction, and critical analysis of primary sources.

An illustration of applying the tailored problem-based learning model [26; 27] within a domestic organic chemistry course can be a project assignment on the synthesis and analysis of biodiesel through the transesterification of vegetable oils – a reaction that directly engages the topic "Carboxylic acids and their functional derivatives" while also illustrating the principles of green chemistry. Rather than a ready-made synthesis protocol, students are given a clearly formulated problem (for example, increasing the yield of the target product while minimizing the use of organic solvents), to solve which they independently review the available scientific literature, plan the experiment, choose among available catalysts and reaction conditions, and analyze the data obtained using spectral methods. This assignment format combines elements of PBL, green chemistry, and digital tools (spectral databases, reaction simulators) within a single learning cycle, whose didactic value is confirmed by the results of the studies discussed above [26; 27].

An equally important component of digitalization is automated and adaptive knowledge-assessment systems for organic chemistry, which make it possible to generate varied test items on recognizing structural formulas, compound nomenclature, and reaction mechanisms, automatically evaluate students' answers, and generate individualized recommendations for material review. Combining such systems with learning-analytics modules [5; 9] allows instructors to promptly identify students' typical errors – for example, incorrect determination of chiral centers or confusion in the nomenclature of structural and spatial isomers – and to adjust the teaching methodology for the relevant topics accordingly.

Table 4

Typical student errors in studying organic chemistry and digital tools for their diagnosis

Type of error	Example	Digital diagnostic/corrective tool
Errors in determining chiral centers	Incorrect determination of the R/S configuration of an asymmetric carbon atom	3D visualization (Avogadro, ChemDraw), adaptive testing
Confusion in isomer nomenclature	Incorrect naming of cis-/trans- or structural isomers	Gamified nomenclature trainers, 3D models
Errors in reaction mechanisms	Incorrect direction of electron-pair movement in SN1/SN2 mechanisms	Animated reaction-mechanism simulations
Errors interpreting spectral data	Incorrect matching of 1H NMR signals to compound structure	AR applications (H NMR MoleculAR), spectral databases
Errors in planning multistep synthesis	Violating the sequence of protecting-group installation and removal steps	Virtual laboratories, guided-inquiry tasks

The effectiveness of implementing the technologies listed in teaching organic chemistry depends on meeting a number of pedagogical conditions substantiated in [1]: adequate methodological training of instructors in working with digital tools, alignment of digital content with the discipline's specific learning objectives, students' access to technical infrastructure, and organizational support from the higher education institution. Using digital tools without regard for these conditions turns them into a formal add-on to traditional teaching, whereas systematic integration – supported

methodologically – makes it possible to transform digital tools into a full-fledged component of a modern educational environment that ensures individualization, interactivity, and adaptability in the organic chemistry learning process [1; 7].

The success of integrating the technologies discussed into the educational process largely depends on the level of digital competence of organic chemistry instructors themselves. Study [7] highlights the need for the purposeful development of the methodological competence of future and practicing natural-science teachers in working with digital laboratories and interactive learning tools. In this context, it is advisable for higher education institutions to introduce a system of short-term professional development courses, training sessions, and methodological seminars devoted to the practical mastery of virtual-laboratory platforms, three-dimensional visualization tools, and learning-analytics instruments. Special attention should be paid to experience-sharing between chemistry departments of different higher education institutions, as well as to involving younger instructors, who as a rule demonstrate a higher level of readiness to work with digital technologies, in mentoring older colleagues on issues of digital didactics.

A comparative analysis of international experience shows similar trends in the digitalization of chemistry education across different countries, despite differences in institutions' technical resourcing. Thus, a study in Indonesia [4] demonstrates the effectiveness of a STEAM-oriented chemistry teaching model based on ethical dilemmas for increasing student engagement; in Kazakhstan [9], a comprehensive set of online tools for teaching chemistry based on a systematic approach is substantiated; in the United States [3; 15], substantial experience has accumulated in using interactive PhET simulations and augmented-reality applications specifically in organic chemistry courses; and in Gulf countries [14], the Crocodile Chemistry platform has been piloted as a tool for innovative e-learning in higher education. This provides grounds for asserting that the need to digitalize organic chemistry teaching is a global phenomenon, and that Ukrainian higher education institutions should continue to study and adapt the best elements of this experience, taking into account their own technical capabilities and the specific conditions of wartime.

At the same time, the process of digitalizing organic chemistry teaching is accompanied by a number of challenges that require special attention from researchers and higher education administrators. These include, in particular, unequal student access to quality internet connectivity and modern technical equipment, especially amid power outages caused by damage to energy infrastructure; an insufficient level of digital competence among some senior academic staff; and the risk of formal, superficial use of digital tools without proper methodological reflection on their didactic role [1; 12]. Overcoming these challenges requires systematic institutional support: organizing digital-skills courses for instructors, preparing backup (offline) versions of teaching materials for use during power outages, and developing clear methodological recommendations on the appropriate combination of traditional and digital forms of work at each stage of studying the discipline. The experience of Ukrainian higher education institutions under conditions of air-raid alerts and

scheduled power outages shows that an additional element of such a backup strategy can be the preparation of lightweight, low-bandwidth versions of video materials and assignments suitable for viewing and completion on mobile devices under limited internet speed, as well as prior agreement with students on asynchronous formats for submitting individual assignments in case of an unforeseen interruption of a class.

From a managerial standpoint, implementing modern educational technologies in teaching organic chemistry is an integral part of the Faculty of Natural Sciences' development strategy and must align with higher education standards for natural-science specialties. Updating educational programs to include a digital component involves revising course syllabi, incorporating relevant digital competencies into the list of program learning outcomes, and ensuring adequate material and technical support – from licensed software for molecular modeling to stable internet access in classrooms and dormitories of the higher education institution. Such a systematic, rather than fragmented, approach to the digital transformation of the educational process enhances the competitiveness of organic chemistry educational programs and aligns with pan-European trends in modernizing natural-science education.

An additional argument in favor of implementing digital technologies systematically at the faculty level, rather than at the level of a single department, is the interdisciplinary nature of training specialists in the natural sciences: the organic chemistry course is closely linked to disciplines in biology, ecology, and biochemistry, where students likewise need skills in working with three-dimensional molecular models, virtual laboratories, and spectral databases. Centralized procurement of licenses for specialized software (for example, for molecular modeling or managing virtual laboratory work), together with coordinated methodological training of instructors across different departments of the Faculty of Natural Sciences, makes it possible to avoid duplicated expenditures and to ensure a consistent digital educational environment throughout a student's entire course of training – from introductory courses in general and inorganic chemistry to specialized upper-level disciplines, including organic chemistry, biochemistry, and environmental chemistry.

Summarizing the experience reviewed, it is advisable to propose a phased model for implementing modern educational technologies in teaching organic chemistry at the Faculty of Natural Sciences, one that takes into account the higher education institution's available resources, the gradual development of instructors' digital competence, and the need to preserve the stability of the educational process under wartime conditions (Table 4).

Table 5

Stages of implementing modern educational technologies in teaching organic chemistry

Stage	Estimated timeframe	Main activities	Expected outcome
Preparatory	1 semester	Auditing existing infrastructure; training instructors to work with an LMS and basic simulators (PhET, ChemCollective)	Instructors' readiness to implement basic digital tools

Stage	Estimated timeframe	Main activities	Expected outcome
Basic implementation	1–2 academic years	Integrating video lectures, gamified trainers, and three-dimensional visualization tools into individual course topics	Differentiated application of technologies by course topic (Fig. 1)
Expanded implementation	2–3 academic years	Introducing guided-inquiry and PBL elements into the laboratory practicum; piloting VR/AR laboratories	Development of students' research competencies and soft skills
Institutionalization	after year 3	Embedding the digital component in educational programs; preparing backup offline materials; systematic effectiveness monitoring	A stable model for teaching organic chemistry that is resilient to crisis situations



Fig. 3. Roadmap for the phased implementation of modern educational technologies in teaching organic chemistry

Practical piloting of the proposed phased model is advisable primarily within the training of students in specialties 014.06 Secondary Education (Chemistry) and 102 Chemistry, where the organic chemistry course occupies one of the key places in the structure of professional training. Piloting individual elements of the model – in particular, video-supported lectures, gamified nomenclature assessment, and guided-inquiry tasks in the laboratory practicum – should be started with a single academic group over the course of a semester, with a subsequent comparison of academic performance and course-satisfaction results against a control group taught using the traditional methodology. This piloting format, which relies on the comparative-study design used, in particular, in [22; 24; 28], makes it possible to obtain objective data on the feasibility of scaling the model to other natural-science disciplines within the faculty.

An integral part of the proposed model is monitoring implementation effectiveness, which makes it possible to identify problem areas in a timely manner and adjust the pace and priorities of the course's digital transformation. An indicative list of indicators worth tracking at each stage is given in Table 5; methodologically, it draws on indicators of academic performance, satisfaction, and the development of students' research competencies used in the empirical studies discussed above [11; 22; 28; 31].

Table 6

Indicators for monitoring the effectiveness of implementing digital technologies in teaching organic chemistry

Indicator	Method of measurement
Academic performance in the discipline	Comparing final grades before and after technology implementation
Level of student engagement and motivation	Course-satisfaction questionnaires; observation of in-class activity
Development of research competencies and soft skills	Assessment of performance on guided-inquiry and project tasks
Level of instructors' digital competence	Internal surveys; participation in professional development courses
Technical accessibility and stability of digital tools	Tracking technical failures; platform-usage statistics

It should be noted that the differentiated model and phased implementation roadmap presented in this work are based on synthesizing the results of predominantly international empirical studies and represent a theoretical and methodological generalization rather than the findings of the authors' own experimental research conducted at a specific Ukrainian higher education institution. This necessitates further practical piloting of the proposed solutions, in particular a comparative assessment of the academic performance of experimental and control groups over several semesters, before final conclusions can be drawn about the scalability of the model to other natural-science disciplines within the faculty. At the same time, it is precisely the systematized nature of the analysis presented – which brings together disparate research findings from different countries and educational contexts [3; 4; 9; 31] within a single model adapted to the conditions of domestic higher education – that constitutes an independent methodological contribution for organic chemistry instructors who are just beginning the digital transformation of their own courses.

Particular attention during the digitalization of organic chemistry teaching should be paid to issues of academic integrity. The availability of artificial-intelligence-based tools for solving computational problems or preparing laboratory reports, the availability of ready-made solutions online, and the possibility of multiple students completing online tests collectively at the same time create new challenges for the objective assessment of learning outcomes. Mitigating these risks is facilitated by using systems with automated, variable generation of test items and limited completion time, combining remote test-based assessment with the oral defense of laboratory work, and fostering in students a clear understanding of the acceptable limits of using digital, including generative, tools in the organic chemistry learning process.

In summary, modern educational technologies – learning management platforms, virtual laboratories and simulators, three-dimensional molecular-visualization tools, augmented and virtual reality technologies, blended and flipped learning models, gamification, and adaptive knowledge-assessment systems – form an integrated technological complex capable of substantially improving the quality of organic chemistry teaching in higher education institutions. Their implementation is especially

relevant under martial law, when distance and blended learning formats are a necessary condition for maintaining the continuity of the educational process. The differentiated model of technology application by course topic (Fig. 1) proposed in this work, the cyclical model of lesson organization (Fig. 2), the phased implementation roadmap (Fig. 3, Table 4), and the system of effectiveness-monitoring indicators (Table 5) together constitute a practice-oriented toolkit suitable for adaptation to the specific conditions of a Faculty of Natural Sciences.

Integrating the approaches to teaching organic chemistry discussed in this work into the broader context of the development of the scientific and educational system within the European vector is a natural continuation of the processes of harmonizing Ukrainian higher education with pan-European quality standards for natural-science training. Prospects for further research are associated with developing adaptive digital models for teaching organic chemistry that incorporate elements of artificial intelligence, creating domestic cloud platforms for modeling organic syntheses, and empirically piloting the proposed phased implementation model at specific higher education institutions, followed by an in-depth study of its impact on the development of research competencies among future specialists in the natural sciences.

REFERENCES

1. Kochubei O. V. Educational digital tools as a means of improving chemistry teaching in higher education institutions. *Open Educational E-environment of Modern University*. 2025. No. 19. P. 115–127. https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.197 [in Ukrainian]

2. Burenkova K. V. Modern methods and tools for active learning of organic chemistry: a lecture course. Odesa : Odesa I. I. Mechnikov National University, 2019. 140 p. [in Ukrainian]

3. Salame I., Makki J. Examining the Use of PhET Simulations on Students' Attitudes and Learning in General Chemistry II. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*. 2021. Vol. 17, No. 4. Article e2247. https://doi.org/10.21601/ijese/10966

4. Rahmawati Y., Taylor E., Taylor P. C., Ridwan A., Mardiah A. Students' Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma STEAM Teaching Model in Chemistry Learning. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 6. Article 3554. https://doi.org/10.3390/su14063554

5. Elmoazen R., Saqr M., Khalil M., Wasson B. Learning analytics in virtual laboratories: A systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*. 2023. Vol. 10, No. 1. Article 23. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y

6. Krutova N. Virtual STEM laboratories for research and experiments in natural sciences and mathematics. *Proceedings of "STEM School – 2022"*. Kyiv : Osvita Publishing House, 2022. P. 46–53. [in Ukrainian]

7. Kryzhanovskyi S., Holovko M. Digital laboratory as a means of developing the methodological competence of future physics teachers. Preparing future teachers of physics, chemistry, biology, and natural sciences in the context of the requirements of

the New Ukrainian School : conference proceedings. Ternopil, 2023. P. 216–219. [in Ukrainian]

8. Babenko O., Panasenko N., Kharchenko Yu. The use of digital tools in teaching chemistry to 7th grade students in distance and blended learning environments. *Current Issues of Natural Science and Mathematics Education*. Sumy : Sumy State Pedagogical University, 2024. P. 115–121. https://doi.org/10.5281/zenodo.14567149 [in Ukrainian]

9. Manapova S., Shaikhova B., Kumarbekuly S. et al. A Set of Online Tools for Teaching Chemistry Considering a Systematic Approach. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*. 2025. Vol. 8, No. 1. P. 1363–1379. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i1.4613

10. Bondar L., Zhivaha A. Modernization of chemistry lessons in the context of digitalization. *Pedagogical Zhytomyrshchyna*. 2023. No. 1(29). P. 5–12. [in Ukrainian]

11. Castro R. Effects of Chemistry Virtual Laboratories in Academic Achievement of Secondary Level Learners: A Meta-Analysis. *International Science Education Journal*. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 24–37. https://doi.org/10.37251/isej.v6i1.1379

12. Anishchenko O. V., Kotun K. V. Blended learning in higher education institutions: technological and andragogical dimensions. *Pedagogical Academy: Scientific Notes*. 2024. No. 12. [in Ukrainian]

13. Zhukova O. A., Stoianova V. S., Semenenko O. V. Gamification as a means of enhancing students' motivation to study professionally oriented disciplines under blended learning. Kharkiv : V. N. Karazin Kharkiv National University, 2024. [in Ukrainian]

14. Alqallaf N., Almahmeed Z., Alsaber A. R., Alboloushi B., Alkandari A., Alhashem F. Advancing education through e-learning innovation: The case of the Crocodile Chemistry program in higher education. *Frontiers in Education*. 2025. Vol. 10. Article 1485600. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1485600

15. Ward L. W., Spencer D., Chauhan D., Oliver-Hoyo M. Lessons learned: the use of an augmented reality application in organic chemistry laboratories. *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. Article 1384129. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1384129

16. Amirbekova E., Shertayeva N., Mironova E. Teaching chemistry in the metaverse: the effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization. *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 8. Article 1184768. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1184768

17. Mistry N., Shahid N. Design and Delivery of Virtual Inquiry-Based Organic Chemistry Experiments. *Journal of Chemical Education*. 2021. Vol. 98, No. 9. P. 2952–2958. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00571

18. Williams N. D., Gallardo-Williams M. T., Griffith E. H., Bretz S. L. Investigating Meaningful Learning in Virtual Reality Organic Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 2. P. 1100–1105. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00476

19. Mojsoska B., Pande P., Moeller M. E., Ramasamy P., Jepsen P. M. Virtual Reality in an Eco-Niche Undergraduate Organic Chemistry Laboratory Course: New

Practice in Chemistry Lab Teaching. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, No. 11. P. 4686–4693. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00099

20. Fleming S. A., Keyer R. A. Role of Visualization in Learning Chemistry. Engaging Students in Organic Chemistry. *ACS Symposium Series*. Vol. 1378. Washington, DC : American Chemical Society, 2021. P. 59–69. https://doi.org/10.1021/bk-2021-1378.ch005

21. Holloway L. R. et al. Using Flipped Classroom Modules to Facilitate Higher Order Learning in Undergraduate Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, No. 2. P. 490–500. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00907

22. Dehghan S., Horan E. M., Frome G. Investigating the Impact of the Flipped Classroom on Student Learning and Enjoyment in an Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 7. P. 2512–2519. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01104

23. Ogba O. M. et al. Midsemester Transition to Remote Instruction in a Flipped College-Level Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*. 2020. Vol. 97, No. 9. P. 3188–3193. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00632

24. Szura J. W., Fischer C., Link R. D., Collins P. Looking at the Laboratory Discussion: Course Modality Choice and Student Performance in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 10. P. 3478–3487. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00437

25. Petillion R. J., McNeil W. S. Student Satisfaction with Synchronous Online Organic Chemistry Laboratories: Prerecorded Video vs Livestream. *Journal of Chemical Education*. 2021. Vol. 98, No. 9. P. 2861–2869. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00549

26. Varadarajan S., Ladage S. Problem-Based Learning (PBL): A Literature Review of Theory and Practice in Undergraduate Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, No. 8. P. 3027–3038. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01335

27. Costantino L., Barlocco D. Teaching an Undergraduate Organic Chemistry Laboratory Course with a Tailored Problem-Based Learning Approach. *Journal of Chemical Education*. 2019. Vol. 96, No. 5. P. 888–894. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b01027

28. Fry M. R., McQuade K. L., Campbell D. J., Montag S. D. Guided Inquiry Outperforms the Traditional Expository Approach in Developing Key Soft Skills in Organic Chemistry Laboratory Courses. *Journal of Chemical Education*. 2026. Vol. 103, No. 5. P. 2525–2533. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01051

29. Latimer D. R., Ata A., Forfar C. P., Kadhim M., McElrea A., Sales R. Overcoming the Hurdle from Undergraduate Lab to Research Lab: A Guided-Inquiry Structural Characterization of a Complex Mixture in the Upper-Division Undergraduate Organic Lab. *Journal of Chemical Education*. 2018. Vol. 95, No. 11. P. 2046–2049. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00421

30. Mitra A. K. Reimagining Organic Chemistry Laboratories: A Review of Modern Pedagogical Approaches. *Journal of Chemical Education*. 2026. Vol. 103, No. 3. P. 1225–1237. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00663

31. Sivrikaya S. Ö., Çalik M., Kurt S. Meta-Analysis of Effectiveness of Pedagogical Innovations Involving Technology in Organic Chemistry Education in Developing Students' Academic Performance. *Journal of Chemical Education*. 2026. Vol. 103, No. 2. P. 752–767. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00870

3.2. Integration of Artificial Intelligence into Inorganic Chemistry Education as an Innovative Direction of Modern Pedagogy

Digital transformation is changing not only the technical environment of education but also the logic of teaching, learning and assessment. The rapid spread of generative artificial intelligence has intensified this process because students now have access to systems capable of explaining concepts, generating examples, suggesting solution strategies and responding to questions in natural language. From a pedagogical perspective, however, the decisive issue is not the availability of the technology itself but the type of cognitive activity it encourages. If AI is used primarily to obtain a finished answer, it can reduce intellectual effort. If it is embedded in problem-based, research-oriented and reflective learning, it can expand opportunities for individualisation, dialogue and formative assessment [1].

Inorganic chemistry provides a particularly meaningful context for analysing these possibilities. Its study requires students to coordinate macroscopic observations, symbolic representations and microscopic models. A colour change, precipitate formation or gas evolution must be connected with particle-level processes and represented through chemical equations. Students also need to understand periodic trends, electronic structure, oxidation-reduction processes, acid-base behaviour, crystal structures and coordination compounds. These topics involve abstract reasoning and movement between several representational levels; therefore, flexible explanation and visualisation can have substantial didactic value when scientifically controlled.

The educational purpose of AI should not be the automation of the teacher's intellectual work or the replacement of student reasoning. A human-centred approach requires pedagogical control, transparency, protection of data and preservation of human responsibility for educational decisions [1; 5]. In chemistry this principle is especially important because a factual error can distort not only theoretical understanding but also perceptions of experimental safety. AI-generated information should therefore be treated as a provisional output that requires verification through textbooks, reference data, scientific publications, calculations or experiment.

Pedagogical design should follow the sequence of learning objective, disciplinary content, student activity and only then technological support. The teacher first defines what students should understand or be able to do, selects the relevant inorganic chemistry content and determines the required cognitive operation. AI is introduced only if it strengthens that operation. For example, if the objective is independent balancing of redox equations, asking a model to produce the completed equation

contradicts the objective. A more productive use is to generate practice cases, provide a hint after an independent attempt or ask the student to explain why a particular electron balance is incorrect.

The distinction between assistance and substitution is fundamental. Assistance reduces secondary difficulties while leaving the core learning operation to the student. Substitution occurs when the system performs the very reasoning that the learner is expected to master. This distinction allows teachers to establish transparent rules for AI use. A task may specify what must be completed independently, at which stage AI may be consulted, what kind of assistance is permitted and how the resulting information must be checked. Such regulation is comparable to the pedagogical use of any scaffold: it should support learning without becoming a permanent replacement for competence.

Personalisation is one of the most promising educational functions of AI. Students differ in prior knowledge, pace of learning and typical misconceptions. A generative system can reformulate an explanation, provide an additional analogy, create a simpler preliminary exercise or ask a sequence of diagnostic questions. Personalisation, however, should not be confused with lowering academic expectations. All students should work toward common learning outcomes and quality criteria, while the route and amount of temporary support may vary. Conceptual work remains essential even when the form of explanation is adapted.

Periodic properties provide a useful example. A student who has difficulty understanding atomic-radius trends may be guided through questions about the number of electron shells, effective nuclear charge and shielding. Instead of receiving a memorised rule, the learner reconstructs the causal relationship. A more advanced student can be asked to compare several trends, analyse exceptions or explain why a simple rule has limits. In both cases AI functions as a flexible scaffold, while the student remains responsible for constructing and defending the chemical explanation.

A useful methodological rule is to require an initial independent response before AI assistance. The student records a hypothesis, a preliminary calculation, an equation or a short explanation. Only then is the digital assistant used. After the interaction, the learner compares the new information with the initial reasoning and identifies what was changed and why. This simple sequence protects productive difficulty and creates evidence of cognitive development. It also supports metacognition because students become more aware of their own errors, strategies and dependence on external support.

Inorganic chemistry education also requires movement between different forms of representation. A molecular formula, a structural model, a crystal lattice, a reaction equation and an observable property describe related but non-identical aspects of a chemical system. Students may reproduce a formula correctly without understanding the species present in solution, or recognise a crystal structure without connecting it to physical properties. Digital modelling can support these transitions, but visualisation must be followed by interpretation. The pedagogical goal is not to display a sophisticated image but to help students explain what the model represents, what it omits and how it relates to experimental evidence.

Generative AI can produce descriptions, analogies and images that appear convincing while containing chemical inaccuracies. A coordination complex may have an incorrect geometry, a lattice may contain an implausible arrangement, or labels may be chemically inconsistent. Consequently, AI-generated visualisations should not be presented as automatically authoritative. A productive task is to compare a generated representation with a validated source and identify discrepancies. In this way a technological limitation becomes a resource for developing epistemic vigilance and subject-specific critical thinking [2–4].

The same principle applies to textual explanations. A fluent answer can create an illusion of reliability, particularly for a novice who lacks sufficient disciplinary knowledge to recognise an error. Teachers can deliberately use incorrect or partially correct AI responses as objects of analysis. Students locate the problematic statement, correct it and justify the correction through chemical principles or evidence. Such tasks reverse the usual relationship with the system: the learner becomes an evaluator rather than a passive recipient. This is especially valuable for oxidation states, solubility, amphoterism, coordination geometry and periodic trends.

Virtual experimentation offers another important area for pedagogical integration. A simulation can familiarise students with the sequence of operations, allow repeated practice, support prediction and demonstrate the consequences of changing selected parameters. It is useful for pre-laboratory preparation and for situations in which access to particular equipment or substances is limited. Nevertheless, virtual experimentation cannot fully reproduce manipulation of real glassware, dosing, observation of actual reaction rates, measurement uncertainty, sensory cues or the practical responsibility associated with laboratory safety.

For this reason, the most defensible model is not replacement but combination: digital pre-laboratory preparation, authentic experiment and post-laboratory analysis. Before the experiment students predict the outcome, review safety requirements and identify variables. During the laboratory work they collect observations and measurements. Afterwards they compare predictions with results, analyse discrepancies and formulate explanations. AI can support the final stage by generating questions or alternative interpretations, but the explanation must be checked against the actual data and reliable chemical sources.

Experimental education should also teach students to distinguish observation from interpretation. The statement that a white precipitate formed is an observation; identifying the substance that constitutes the precipitate is already an interpretation. AI can help create cases in which the same observation initially permits several hypotheses. Students then design an additional test capable of discriminating among them. This approach approximates the logic of authentic scientific inquiry and demonstrates that conclusions are not directly given by observations but emerge through evidence-based reasoning.

Qualitative inorganic analysis is particularly suitable for this type of activity. Instead of asking the system to identify an unknown ion, students can receive a set of observations and propose several possibilities. They then choose the most informative

additional reaction and justify its selectivity, possible interferences and expected outcome. AI may ask follow-up questions, but the student constructs the analytical pathway. Such tasks develop sequential reasoning and show that chemical identification is a system of converging evidence rather than recognition of a single spectacular effect.

Formative assessment is another domain in which AI may extend the teacher's capacity. In large groups it is difficult to provide immediate individual feedback on every intermediate attempt. A digital assistant can ask a guiding question, point to a step that should be reconsidered or generate a similar exercise. The most useful feedback does not simply announce the correct answer. It directs attention to the logic of the solution and allows the learner to make the correction. Final academic judgement, however, remains a professional responsibility of the teacher.

Automated feedback must be used carefully when several valid solution paths exist. A model may reject an unusual but chemically correct strategy or approve a persuasive explanation that contains a hidden factual error. Therefore, AI feedback should function primarily as a preliminary layer of self-checking. Assessment criteria should include chemical accuracy, quality of reasoning, appropriate terminology, evidence, independence and the ability to explain one's own decisions. Early reviews of ChatGPT in education similarly identify both opportunities for support and challenges related to accuracy, assessment and integrity [4].

Generative AI has made academic integrity a central issue in contemporary pedagogy. Traditional homework based on reproducing definitions or standard solutions can often be completed by a model with minimal student engagement. This does not mean that all unsupervised work should be abandoned. It means that assessment design should make thinking visible. Useful approaches include the use of data from a student's own experiment, comparison of alternative explanations, short oral defence, analysis of intermediate steps and tasks requiring transfer to a new chemical context.

Transparent declaration of AI use is preferable to ambiguity. Students should state whether the system was used for brainstorming, language editing, generation of practice questions, conceptual explanation or checking. An AI response does not replace a scientific source and should not be cited as evidence for a chemical fact when authoritative literature is available. Research on academic integrity in the era of large language models emphasises the need to redesign assessment practices and clearly define acceptable uses of AI [10; 14].

AI literacy therefore becomes part of contemporary scientific literacy. It is not limited to writing effective prompts. Students need to understand that generative models produce probabilistic outputs and do not guarantee truth. Chemical formulas, names, numerical values, reaction equations and bibliographic references require verification. Students should distinguish confident linguistic style from evidence and learn that a plausible answer may still be wrong. Frameworks for AI literacy likewise emphasise critical evaluation, ethical judgement and responsible decision-making in addition to technical use [15].

Prompt formulation can nevertheless have pedagogical value when it is treated as a form of problem formulation. A strong question emerges from disciplinary understanding: the learner must know which reaction conditions matter, which variables should be specified and what type of evidence is needed. The aim is therefore not to teach a set of prompt tricks but to cultivate the ability to define a scientific problem precisely. This connects AI use with inquiry skills and prevents technical interaction from becoming detached from chemistry.

Coordination chemistry illustrates how such guided dialogue can be applied to conceptually difficult content. Students may be asked to identify the central atom, determine its oxidation state, count ligands, establish the coordination number and predict possible geometry. The system can provide questions at each stage without revealing the final answer. The learner then compares the prediction with validated structural information. This process supports spatial reasoning while maintaining the requirement that the conclusion follow from chemical principles rather than from algorithmic authority.

Acid-base behaviour of inorganic compounds can be taught in a similar way. Instead of memorising isolated facts, students analyse the position of an element in the periodic table, oxidation state, bond character and polarising ability, and then predict whether an oxide or hydroxide is acidic, basic or amphoteric. AI can function as a Socratic interlocutor that asks for justification. The important pedagogical shift is from recalling a classification to constructing a causal explanation that can be transferred to unfamiliar compounds.

Redox chemistry requires a distinction between algorithmic and conceptual mastery. Algorithmically, students should determine oxidation states, identify oxidising and reducing agents, construct an electron balance and obtain a balanced equation. Conceptually, they should explain why a species exhibits a particular redox behaviour under specified conditions. AI may check intermediate work, but its most productive role is to ask why a step was chosen. This shifts attention from automatic balancing to the chemical meaning of electron transfer.

The chemistry of the elements can also benefit from comparative AI-supported learning. Large volumes of factual material often encourage memorisation without systematisation. Students can instead compare elements within a group, identify common features, establish trends and explain exceptions. The system may generate additional comparison questions, while factual values are taken from validated reference sources. This organisation helps students perceive inorganic chemistry as a coherent system of relationships rather than a catalogue of unrelated reactions.

Data literacy should be integrated into this process. Even at an introductory level, students need to read tables, recognise trends, construct simple relationships and distinguish a meaningful pattern from coincidence. AI may generate questions about a dataset, but interpretation should remain with the learner. When comparing ionic radii, ionisation energies, melting points or thermodynamic values, students should be required to explain the trend through structure and bonding rather than merely describe numerical change.

Thermodynamics and chemical equilibrium offer opportunities to connect mathematical manipulation with chemical meaning. Students sometimes substitute values correctly while failing to interpret the result. A useful sequence begins with an independent calculation and continues with questions about the sign of the Gibbs energy change, direction of a process, equilibrium position or temperature effects. AI can support the questioning stage, while the final interpretation is checked against chemical principles. Such tasks combine quantitative literacy with conceptual understanding.

The study of functional inorganic materials creates a bridge between fundamental chemistry and contemporary scientific problems. Battery materials, semiconductors, photocatalysts, sorbents, ceramics and coordination frameworks can serve as contexts for applying concepts of composition, bonding, crystal structure and defects. AI may help generate alternative hypotheses about structure-property relationships, but claims concerning real materials should be verified against current scientific literature. This preserves the distinction between exploratory dialogue and evidence.

Open-ended material-selection tasks are especially valuable. Students may be asked to propose an inorganic material for a defined application and justify the choice using chemical stability, availability, toxicity, temperature conditions and functional performance. A generative model can broaden the list of alternatives, yet students must establish criteria, verify data and defend the final choice. Such tasks integrate disciplinary competence, critical thinking and decision-making under uncertainty and connect inorganic chemistry with materials science and sustainability.

Problem-based learning can be organised around corrosion, water purification, inorganic waste, catalysis or energy storage. These contexts create meaningful reasons to apply theoretical concepts. AI should not generate the final project solution; instead, it can suggest questions that have not yet been considered, present an alternative position or challenge the completeness of the argument. The student group remains responsible for evaluating evidence and selecting a defensible solution. Conceptual work on AI in education similarly stresses that technological capabilities should be judged through their contribution to learning rather than through novelty alone [11].

Research-oriented learning can use AI to generate alternative hypotheses, counterarguments and questions. The empirical or reference data, however, should originate from reliable sources or from the students' own experiments. Learners may compare a series of compounds, formulate a relationship, test it against exceptions and discuss the limits of generalisation. In this mode AI expands the space of inquiry but does not provide the evidentiary foundation. This distinction is crucial for preserving the epistemic norms of chemistry.

Group work with AI requires deliberate design because individual interaction with a chatbot can inadvertently reduce peer communication. Roles can be distributed so that one student formulates the hypothesis, another checks chemical data, a third analyses the AI response and a fourth prepares the argument. The group then discusses disagreements and produces a common conclusion. Such organisation maintains the

social character of learning and scientific communication while still making productive use of digital assistance.

The professional role of the teacher becomes more complex rather than less important in an AI-supported environment. Subject knowledge and pedagogy must be complemented by the ability to evaluate digital outputs, manage data risks, design tasks resistant to mechanical generation and explain ethical norms. The teacher becomes a designer of learning activity who coordinates textbooks, scientific sources, experiment, digital models and human reasoning. Reviews of AI in higher education have repeatedly shown the importance of strengthening the pedagogical perspective rather than focusing exclusively on technological capability [8; 9].

For future chemistry teachers this issue has a double significance. They need to use AI responsibly in their own learning and also learn how to organise its use by pupils. This includes explaining the difference between assistance and substitution, designing fact-checking tasks, considering age appropriateness, protecting data and providing alternatives when a particular service is inaccessible. Teacher education should therefore integrate AI literacy with subject methodology rather than treating it as a separate technical topic.

Inclusive education may benefit from the adaptability of AI. A complex explanation can be reformulated, a concept can be presented through several analogies and a procedure can be broken into manageable steps. However, adaptation must not distort chemical meaning or lower expected outcomes. Accessibility should be understood as providing different routes toward the same academically meaningful goal. Moreover, tasks should not require paid access to a commercial service unless equal access is institutionally guaranteed.

In multilingual learning environments, generative tools can support terminology and initial access to English-language scientific literature. Yet chemical nomenclature, names of minerals, coordination compounds and specialised terms require verification. A productive task is not simply to translate a passage but to build a glossary, explain the meaning of terms and apply them in a new context. In this way language support contributes to professional scientific communication instead of replacing it.

Data protection is an essential condition of responsible use. Public AI systems should not receive personal student data, confidential assessment materials, unpublished research results or information whose disclosure conflicts with institutional policy. These requirements should be integrated into digital culture rather than presented as an administrative footnote. European guidance for educators similarly highlights critical and ethical use of AI and data in teaching and learning [6].

The effectiveness of AI-supported teaching should be evaluated through learning outcomes, not impressions of technological novelty. Relevant indicators include the quality of causal explanations, transfer of knowledge to unfamiliar situations, types of errors, independence, interpretation of experimental observations and quality of reflection. If the main measurable change is faster task completion without deeper understanding, the instructional scenario should be reconsidered. Speed is not equivalent to learning.

Long-term retention is a particularly important criterion. A learner may perform successfully immediately after an AI hint but fail to reproduce the reasoning several days later. Delayed tasks without digital assistance can reveal whether knowledge has become internalised and transferable. Such assessment helps distinguish genuine learning from temporary performance support. It also provides evidence for adjusting the amount and timing of scaffolding.

Motivation should be considered in the same critical way. AI may initially increase engagement because of novelty and the ease of dialogue, but novelty effects diminish. Sustainable motivation depends on meaningful problems, perceived progress and opportunities to use knowledge productively. AI should therefore be embedded in intellectually significant chemistry tasks rather than used as a decorative feature. A good pedagogical design should remain valuable even after the technology itself no longer feels new.

Institutional implementation benefits from clear but flexible guidance. General rules should address privacy, transparency and academic integrity, while subject-specific recommendations should account for the risks of chemistry. In particular, AI-generated experimental procedures, safety instructions, chemical data and bibliographic references require careful verification. Students should know which uses are allowed, which must be declared and which are incompatible with the purpose of a particular assessment.

A methodological repository of AI-supported inorganic chemistry scenarios could assist teachers. Each scenario might specify the learning objective, topic, permitted AI function, required independent work, verification method and assessment criteria. Examples could cover periodic trends, coordination chemistry, redox processes, chemistry of the elements, thermodynamics and laboratory practice. The purpose would not be to standardise teaching but to accumulate tested pedagogical designs and make professional reflection more systematic.

Empirical research should compare specific modes of AI use rather than treating all AI-supported learning as one condition. Direct explanation, Socratic questioning, analysis of erroneous responses, generation of counterarguments and formative feedback may have very different effects. Research in inorganic chemistry can examine not only test scores but also the quality of causal explanations, chemical language, transfer, experimental interpretation and independence. Such evidence is necessary for moving from general claims about AI toward a discipline-specific evidence-based methodology.

The interdisciplinary literature on generative AI demonstrates a broad range of opportunities alongside concerns about reliability, responsibility and uncritical adoption [13]. For chemistry education, this means that pedagogical innovation must preserve the epistemic standards of the discipline. A new tool does not change the requirement that claims be supported by evidence, models be tested against observations and experimental conclusions be reproducible. AI should be integrated into these standards rather than positioned outside them.

Early concepts of AI-supported education emphasised personalisation and intelligent support systems as ways of extending, rather than eliminating, pedagogical interaction [12]. Contemporary generative models make such support more accessible, but they also increase the risk of cognitive delegation. The central methodological question is therefore how to provide assistance while maintaining intellectual ownership. Requiring initial attempts, verification, explanation and transfer tasks offers a practical response to this challenge.

The integration of AI should also preserve scientific communication among people. Individual chatbot dialogue is useful for practice, but chemistry education develops through discussion, critique and collaborative interpretation. Seminar activities can compare AI-generated answers from different groups, establish shared criteria for reliability and require oral defence of conclusions. Technology then becomes an object and instrument of professional discussion rather than a substitute for it.

Teacher professional development should be continuous. Familiarity with a particular service is insufficient because tools change rapidly. More durable competencies include understanding model limitations, designing cognitively active tasks, verifying outputs, managing privacy, assessing AI-supported work and recognising chemistry-specific safety risks. Professional learning should therefore combine digital competence with disciplinary and pedagogical expertise.

Overall, the integration of artificial intelligence into inorganic chemistry education should be understood as a pedagogical transformation rather than a technical addition. It affects task design, independent work, assessment, laboratory preparation, information culture and the professional role of the teacher. Its strongest contribution lies in expanding dialogue, personalisation, visualisation and opportunities for critical analysis, while its main risks involve factual error, cognitive passivity, academic misconduct, privacy and unequal access.

A pedagogically sound model places the learning objective first, requires an initial contribution from the student, assigns AI a limited and explicit function, and subjects the resulting output to scientific verification. Authentic laboratory work, authoritative sources and human judgement remain indispensable. Under these conditions AI can support the development of subject competence, research skills, digital literacy, critical thinking and responsible authorship without weakening the fundamental character of inorganic chemistry education.

The practical implementation of this model should be gradual. Teachers may begin with a small number of topics where digital support has a clear purpose, establish rules and verification procedures, collect evidence of student difficulties and refine the scenarios. Evaluation should extend beyond immediate achievement to independence, transfer and quality of argumentation. Such gradual implementation avoids both uncritical enthusiasm and unjustified rejection of new technology.

Future research should develop subject-specific indicators of AI literacy for chemistry and teacher-education students. It is important to determine which verification skills, questioning strategies, error-analysis practices and forms of responsible authorship should be expected at different stages of study. Further

investigation is also needed into how different types of AI scaffolding influence conceptual understanding, long-term retention and the ability to solve laboratory and quantitative problems without digital assistance. These directions can provide an evidence base for responsible innovation in modern pedagogy.

The relationship between AI and cognitive load deserves particular attention. Inorganic chemistry often requires simultaneous processing of notation, spatial structure, numerical data and verbal explanation. Well-designed digital support can reduce extraneous load by clarifying instructions or presenting information in stages. At the same time, excessive assistance can remove the germane effort required to build schemas. The pedagogical task is therefore not to minimise difficulty indiscriminately but to distinguish unproductive complexity from intellectually necessary challenge.

A useful strategy is fading of support. At the beginning of a topic, the system may provide structured questions and partial prompts. As competence develops, the prompts become less specific and eventually disappear. Students then complete a comparable task independently. This gradual withdrawal makes the function of AI visible as temporary scaffolding rather than a permanent cognitive prosthesis and gives the teacher a practical mechanism for monitoring growing autonomy.

Error analysis can be formalised through a verification protocol. Students first classify a questionable AI statement as a problem of terminology, factual knowledge, calculation, chemical reasoning, evidence or source quality. They then identify the information needed to resolve the issue and document the source used for verification. Finally, they rewrite the answer in a scientifically acceptable form. Such a protocol transforms fact-checking from an informal reaction into a reproducible academic skill.

The same verification culture is valuable in student research projects. AI can help generate search terms, organise preliminary questions or suggest possible interpretations, but literature selection should be based on traceable publications and databases. Students should be able to distinguish a generated summary from the original source and should consult the source before using a claim in academic writing. This practice strengthens information literacy and reduces the risk of fabricated references.

In laboratory safety education, AI should have a deliberately limited role. It may support recall of general concepts after the teacher has provided validated instructions, but it should not be treated as an autonomous source of operational safety decisions. Risk assessment depends on substance identity, concentration, quantity, equipment, local facilities and institutional procedures. The authoritative basis remains approved documentation, safety data and teacher supervision. This boundary should be explicitly taught as part of responsible AI use in chemistry.

The pedagogical potential of AI is therefore inseparable from the quality of the surrounding learning environment. A weak task does not become strong merely because a chatbot is added to it. Conversely, a well-designed inquiry can use a modest digital function very effectively. The decisive variables are the clarity of objectives, intellectual activity of students, quality of evidence, opportunities for feedback and alignment between teaching and assessment.

This perspective places artificial intelligence within the broader tradition of educational technology. Calculators, simulations, databases and learning management systems have each required educators to reconsider which operations should be automated and which should remain explicit learning goals. Generative AI extends this debate into language and reasoning. Its novelty is substantial, but the pedagogical principle remains familiar: tools should be judged by how they reshape learning activity and by whether that activity leads to durable competence.

For inorganic chemistry, the most productive future is likely to involve hybrid environments. Students will move among authentic laboratory work, validated digital databases, molecular and crystal visualisation, collaborative discussion and generative assistance. The teacher's task will be to orchestrate these resources so that each contributes what it does best. Such orchestration can make learning more flexible and research-oriented while preserving scientific rigour, safety and human responsibility.

Table 1. Pedagogical functions of AI in inorganic chemistry education

AI-supported function	**Student activity**	**Pedagogical condition**
Explanation	Compare and evaluate models	Scientific verification
Adaptive practice	Solve variable-difficulty tasks	Independent attempt before hints
Digital modelling	Interpret structures and representations	Comparison with validated sources
Formative feedback	Analyse and correct errors	Teacher retains final assessment
Virtual laboratory	Prepare, predict and reflect	Combination with authentic experiment

Table 2. Traditional and AI-supported learning: complementary characteristics

Criterion	**Traditional learning**	**AI-supported learning**
Explanation	Common teacher-led explanation	Variable additional explanations
Pace	Predominantly shared	Individual practice pace
Feedback	Limited by teacher time	Rapid preliminary self-check
Experiment	Authentic laboratory work	Authentic work plus digital preparation
Main risk	Insufficient individualisation	Excessive delegation of reasoning

Table 3. Opportunities, risks and pedagogical safeguards

Opportunity	**Risk**	**Pedagogical safeguard**
Personalisation	Over-simplification	Common learning outcomes
Rapid feedback	Incorrect recommendation	Mandatory verification
Generation	Substitution of authorship	Transparent declaration
Visualisation	Chemically incorrect model	Comparison with validated sources
Virtualisation	Displacement of practical work	Combination with real laboratory practice
Adaptivity	Digital inequality	Accessible alternative route

A further methodological issue concerns the sequence in which students encounter information. When AI is available from the first seconds of a task, learners may outsource problem representation before they have identified what is known, what

is unknown and which chemical principles are relevant. More effective design delays digital assistance until students have produced an initial representation of the problem. In quantitative exercises this may include listing variables and units; in conceptual tasks it may include identifying relevant periodic or structural factors; in laboratory work it may include predicting observations. Delayed access makes subsequent AI interaction more purposeful because students can compare external suggestions with an already established cognitive framework.

The principle of comparison can be extended to multiple representations generated by different sources. Students may compare a textbook explanation, a peer explanation and an AI-generated explanation of the same phenomenon. They can evaluate scientific accuracy, completeness, terminology, assumptions and suitability for a particular audience. This activity demonstrates that quality is multidimensional: an explanation may be factually correct but pedagogically confusing, or concise but omit an important condition. Such comparison develops both disciplinary judgement and awareness of how scientific knowledge is communicated.

Chemical misconceptions deserve targeted attention in AI-supported pedagogy. Common misconceptions include treating bonds as physical sticks, assuming that all ionic substances exist as discrete molecules, confusing oxidation state with actual charge, or interpreting equilibrium as a state in which reactions have stopped. A digital assistant can be used to elicit and challenge these ideas through carefully designed questions. The teacher should, however, anticipate that a model may itself reproduce oversimplified explanations. Consequently, misconception-focused activities require especially careful validation and should end with a scientifically precise formulation created by the learner.

Concept mapping is another productive technique. Students can construct a network connecting electronic structure, periodic position, bonding, structure, reactivity and observable properties. AI may suggest possible connections, but each connection must be justified by the student. The resulting map can reveal whether knowledge is organised causally or merely as a list of terms. Repeating the mapping activity after a teaching unit provides evidence of conceptual restructuring and helps students recognise how isolated facts become part of a coherent chemical system.

Retrieval practice should remain an explicit component of AI-supported learning. Constant access to explanations can create the impression that memorisation and recall are no longer necessary, yet fluent retrieval of fundamental concepts is essential for higher-order reasoning. Students cannot critically evaluate an AI statement about periodic trends if every basic fact must first be looked up. Short no-AI retrieval activities, followed by digital feedback, can combine durable memory with efficient correction. The technology is then used after recall rather than instead of recall.

Spaced practice can also be organised more flexibly with digital support. A system can help generate varied questions that revisit earlier concepts in new contexts, for example applying oxidation-state reasoning during coordination chemistry or periodic trends during the study of oxides. The teacher should control the conceptual progression and verify generated tasks. Interleaving topics in this way can reduce

compartmentalised knowledge and encourage students to select an appropriate principle rather than simply repeat the procedure used in the immediately preceding example.

The design of numerical problems requires particular caution. Generative systems may produce internally inconsistent data, unrealistic significant figures or numerical values that accidentally make a problem trivial. Teacher verification is therefore essential before AI-generated quantitative tasks are assigned. A useful alternative is to provide the model with a teacher-approved dataset and ask only for variations in wording or context. Students can then focus on chemical reasoning while the numerical foundation remains controlled and reproducible.

Units and dimensional analysis provide a valuable opportunity for structured feedback. Instead of correcting only the final number, AI can be instructed to ask whether units are consistent, whether conversion factors are justified and whether the magnitude of the result is chemically plausible. The learner should still perform the calculation. This approach encourages habits that are transferable beyond a single topic and reinforces the idea that a numerical answer without dimensional and chemical interpretation is incomplete.

Scientific uncertainty should be represented explicitly in learning activities. Chemistry data are not always exact, and experimental measurements contain uncertainty. AI-generated prose often presents information with unwarranted certainty. Students can be asked to identify where an answer should include conditions, ranges, limitations or uncertainty. In laboratory reports, they can compare a model's confident interpretation with the variability of their own measurements. This activity develops a more mature understanding of scientific claims and discourages the assumption that every question has one context-free answer.

The use of primary literature can further strengthen verification practices. Advanced students may receive an AI-generated summary of a research abstract and then compare it with the original publication. They identify omitted qualifications, exaggerated conclusions or changes in terminology. The task teaches that summarisation is an interpretive act and that secondary or generated descriptions should not replace consultation of the source when precision matters. It also introduces students to the rhetorical structure of scientific publications.

For courses preparing future teachers, lesson planning itself can become an object of AI-supported reflection. Students may ask a model to propose a lesson activity and then evaluate it according to learning objectives, cognitive demand, chemical correctness, safety, accessibility and assessment alignment. Rather than accepting the generated plan, they revise it and justify each modification. This activity combines pedagogical content knowledge with AI literacy and makes explicit the professional judgement required to transform a generic suggestion into responsible teaching.

Microteaching can extend this approach. A future teacher presents a short inorganic chemistry explanation, receives peer feedback and compares it with feedback generated by an AI system. The group then evaluates which comments are pedagogically useful, which are generic and which may be inappropriate for the

intended learners. Such triangulation prevents the system from becoming an unquestioned evaluator and helps future teachers develop criteria for useful feedback. Human observation remains central because classroom communication includes contextual and relational dimensions that a text model cannot fully capture.

Assessment rubrics for AI-supported work should make expectations explicit. A rubric may include chemical accuracy, depth of explanation, quality of evidence, transparency of AI use, independence of reasoning, response to counterarguments and reflection on verification. These criteria shift attention away from trying to detect whether AI was used and toward evaluating the academic quality of the work. They also help students understand that responsible tool use is compatible with rigorous standards when intellectual contribution remains visible.

Portfolio assessment can provide a broader picture of development. A portfolio may contain initial attempts, revised explanations, laboratory reflections, verification notes, concept maps and declarations of AI use. Over time, students can demonstrate decreasing dependence on prompts and increasing ability to detect errors. This longitudinal evidence is more informative than a single generated-looking essay and aligns assessment with the development of autonomy. It also supports reflective discussion between teacher and student.

The distinction between low-stakes and high-stakes assessment is important. During low-stakes practice, generous AI support may be appropriate because the purpose is exploration and feedback. During high-stakes assessment, access may be restricted or carefully specified if the goal is to measure independent competence. Making this distinction explicit reduces confusion and allows students to experience AI as a legitimate learning tool without assuming that every form of assistance is appropriate in every evaluative context.

Accessibility considerations should include students with different learning needs. Text-to-speech, simplified explanations, structured prompts and alternative representations may improve access to complex chemical content. However, AI-generated accommodations should be aligned with institutional accessibility practices and should not inadvertently remove essential learning outcomes. Collaboration between subject teachers and accessibility specialists is therefore preferable to ad hoc simplification. The objective is equitable participation in intellectually meaningful chemistry learning.

The environmental and infrastructural dimensions of AI can also be introduced as part of critical digital literacy. Large-scale computational systems require material resources, energy and data infrastructure. Without turning an inorganic chemistry course into a technology-policy course, teachers can connect these issues to materials, energy storage, semiconductor chemistry and resource extraction. This creates an authentic interdisciplinary context in which students consider how chemical knowledge contributes to the technologies that support digital systems.

Sustainability-oriented tasks can similarly connect inorganic chemistry, materials science and responsible innovation. Students might compare alternative materials for a technological application while considering abundance, recyclability, toxicity and

performance. AI can help formulate a preliminary list of factors, but the class must decide which criteria are scientifically and socially relevant and verify all material-specific claims. Such tasks demonstrate that chemical optimisation often involves trade-offs rather than a single universally best substance.

The history of chemistry offers another context for critical AI use. Students can ask a system to explain the development of a concept such as periodicity or coordination theory and then verify the account against scholarly sources. Generated historical narratives may simplify chronology or attribute discoveries too neatly to individual scientists. Detecting such simplifications helps students understand both the development of chemical ideas and the limitations of fluent automated narratives. It also broadens verification beyond numerical facts to historical interpretation.

Pedagogical use of AI should be periodically reviewed because model behaviour and institutional conditions change. A scenario that is appropriate with one system or version may produce different results later. Teachers should therefore retain examples of prompts, expect functions and verification criteria, but avoid assuming permanent reproducibility of open generative services. The stable element of the methodology should be the pedagogical principle rather than dependence on a specific platform.

Student feedback should contribute to this review. Learners can report which forms of AI support helped them understand a concept, which encouraged overreliance and which created confusion. Such feedback should not be treated as proof of effectiveness, because perceived ease can differ from learning, but it provides useful information about usability and self-regulation. Combining student perceptions with performance and transfer measures produces a more balanced evaluation of the instructional design.

Institutional quality assurance may benefit from interdisciplinary collaboration among chemists, educators, digital-learning specialists and librarians. Chemists can evaluate disciplinary accuracy and safety, educators can assess cognitive and assessment design, digital specialists can address platform and data issues, and librarians can strengthen source verification and information literacy. This collaborative model reflects the complexity of generative AI and prevents responsibility from being placed on individual teachers alone.

Library instruction becomes particularly relevant because AI increases the need to distinguish discovery from evidence. A generated answer may suggest useful terminology or a possible line of inquiry, but students must know how to locate authoritative books, databases and peer-reviewed publications. Teaching source evaluation alongside AI use helps learners understand why traceability, authorship and publication context matter. In this sense, generative technology can make traditional information-literacy skills more, rather than less, important.

The concept of responsible innovation provides a useful overarching frame. Responsible use asks not only whether AI can perform a task but whether its use improves learning, preserves fairness, respects privacy, supports safety and maintains accountability. Inorganic chemistry adds a further requirement: digital convenience must not weaken the experimental and evidentiary foundations of the discipline. A

pedagogical innovation is therefore successful when it expands educational possibilities while strengthening, rather than bypassing, scientific standards.

Taken together, these considerations show that AI integration is best understood as a design problem. The teacher designs the sequence of independent thought, digital interaction, verification, experiment, discussion and reflection. Students learn not merely to operate a tool but to decide when its use is appropriate, how much confidence to place in its output and what evidence is required before accepting a claim. This form of judgement is likely to remain valuable even as specific AI systems change.

A discipline-specific AI literacy curriculum can be organised progressively across a chemistry programme. At an introductory stage, students may focus on recognising that generated outputs require verification and on checking elementary chemical facts. At an intermediate stage, they can evaluate explanations, calculations and models. At an advanced stage, they can use AI critically within research-oriented tasks, document its role and evaluate methodological limitations. Such progression prevents AI literacy from being reduced to a single orientation session and connects it with increasing disciplinary expertise.

The teacher can also use diagnostic questioning to determine whether AI support is masking conceptual gaps. After a student submits a polished explanation, a short follow-up question can change one condition or ask for an analogous example. If the learner can adapt the reasoning, the explanation is more likely to reflect genuine understanding. If not, the teacher can identify which concept requires further work. This approach is educational rather than punitive and is particularly useful when generated language makes written work appear more sophisticated than the learner's actual conceptual model.

In crystal chemistry, interactive digital support can be used to connect coordination environment, packing and macroscopic properties. Students may describe how changing ionic radius or stoichiometry could influence a structural motif and then compare their prediction with a validated crystallographic representation. AI can ask questions about assumptions, but it should not be used as the source of crystallographic truth. The learning value lies in the reasoning that connects structural parameters with possible consequences for stability and properties.

Defects in solids provide a further opportunity to integrate inorganic chemistry with materials thinking. Vacancies, substitutions and non-stoichiometry can be introduced through qualitative scenarios in which students predict effects on charge balance or functionality. A generative system can propose alternative explanations, while students evaluate them using defect chemistry and electroneutrality. Such activities demonstrate that real solids are not always represented adequately by idealised formulas and help learners move beyond purely molecular conceptions of matter.

Surface chemistry and catalysis can be taught through evidence-based comparison of mechanisms and factors. Students may analyse how surface area, adsorption, oxidation state and reaction conditions influence catalytic behaviour. Because mechanistic claims are often context-dependent, AI-generated explanations are

especially suitable for verification exercises. Learners can identify which statements are general principles and which require evidence for a specific catalyst. This reinforces the habit of distinguishing a plausible mechanism from an experimentally supported one.

The educational treatment of nanomaterials should likewise combine conceptual opportunity with critical caution. Size-dependent properties can motivate discussion of surface-to-volume ratio, electronic structure and reactivity, but simplified AI explanations may overgeneralise the term "nano" as if all nanoscale materials behaved similarly. Students can be asked to identify the specific mechanism proposed for a property and determine what evidence would be required. This transforms an attractive contemporary topic into an exercise in scientific precision.

AI-supported learning can also strengthen connections between inorganic chemistry and environmental chemistry. Students may investigate metal-ion mobility, precipitation, adsorption or redox transformations in environmental systems. The model can help generate competing hypotheses about the influence of pH or ligand presence, but students should test those hypotheses using equilibrium concepts and reliable data. This approach demonstrates how fundamental inorganic chemistry contributes to understanding complex environmental processes without reducing them to simplistic narratives.

Reflection after AI-supported tasks should be concise but systematic. Three questions are often sufficient: What did I initially think? What information or challenge did the AI provide? What evidence determined my final conclusion? Repeated use of this structure encourages students to distinguish their own reasoning from external assistance and to value verification as part of the learning process. It also provides the teacher with insight into how the tool influenced cognition rather than merely whether it was used.

A mature AI-supported chemistry course should eventually give students some responsibility for deciding when not to use AI. Choosing to solve a familiar problem independently, consult a reference table directly or discuss an uncertainty with peers can be more efficient and educationally appropriate than initiating a chatbot dialogue. Developing this judgement is an important sign of autonomy. Digital competence includes selective non-use as well as competent use, because the best tool depends on the purpose of the task.

The long-term pedagogical objective is therefore not dependence on a particular generation of artificial intelligence but the development of adaptable scientific learners. Such learners can formulate questions, work with evidence, recognise uncertainty, test explanations, communicate arguments and use tools critically. Inorganic chemistry offers a rich environment for cultivating these capacities because its concepts are simultaneously theoretical, quantitative, visual and experimental. AI can enrich that environment when it is placed within a coherent pedagogy of inquiry, verification and responsibility.

Another relevant direction is the use of AI for question generation by students themselves. Instead of asking the system to create a quiz, learners can formulate questions that would reveal whether another student truly understands a chemical

concept. They then compare their questions with AI-generated alternatives and evaluate cognitive demand. This activity develops assessment literacy and helps students distinguish recall questions from those requiring explanation, prediction or transfer.

Peer review can be strengthened through carefully bounded AI use. Students first evaluate a peer's explanation using a teacher-provided rubric, then consult an AI system for an additional perspective and finally decide which comments are justified. The sequence is important: human evaluation comes first. This prevents the model from setting the standard and encourages learners to defend or reject automated feedback using disciplinary criteria.

The treatment of chemical nomenclature offers a useful example of selective automation. AI can generate practice names and formulas, but the student should apply nomenclature rules independently and verify ambiguous cases with authoritative conventions. Because nomenclature combines rule-based structure with exceptions and conventional usage, it is well suited to rapid practice but poorly suited to unquestioned acceptance of generated answers. Immediate feedback is useful only when the reference standard is clear.

AI-supported education should also preserve opportunities for creative scientific thinking. Creativity in chemistry is not unrestricted invention; it involves proposing plausible hypotheses, designing informative comparisons and combining known principles in new ways. Generative systems can expand the range of suggestions, but students should evaluate feasibility and chemical coherence. The pedagogical value lies in selecting and improving ideas rather than in the sheer number of generated possibilities.

Finally, responsible integration requires a culture in which uncertainty about AI is acceptable. Teachers do not need to present every new system as fully understood or permanently reliable. They can model professional caution by checking outputs, acknowledging limitations and revising practices when evidence changes. This behaviour itself is educational: it demonstrates that scientific and pedagogical professionalism involves continuous evaluation rather than unquestioned confidence in a tool.

Conclusion

The integration of artificial intelligence into inorganic chemistry education is pedagogically justified when digital tools strengthen independent cognitive and research activity rather than replace it. The most promising applications include personalised explanation, formative feedback, digital modelling, preparation for experiment and critical analysis of AI outputs. Scientific verification, academic integrity, data protection, authentic laboratory practice and the leading role of the teacher remain essential conditions. Under these conditions, AI can connect the fundamental character of inorganic chemistry with the innovative possibilities of modern pedagogy.

References

1. Popenici S. A. D., Kerr S. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*. 2017. Vol. 12. Article 22. DOI: 10.1186/s41039-017-0062-8.

2. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*. 2023. Vol. 103. Article 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

3. Tlili A., Shehata B., Adarkwah M. A. et al. What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*. 2023. Vol. 10. Article 15. DOI: 10.1186/s40561-023-00237-x.

4. Lo C. K. What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature. *Education Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 4. Article 410. DOI: 10.3390/educsci13040410.

5. Nguyen A., Ngo H. N., Hong Y., Dang B., Nguyen B.-P. T. Ethical principles for artificial intelligence in education. *Education and Information Technologies*. 2023. Vol. 28. P. 4221–4241. DOI: 10.1007/s10639-022-11316-w.

6. Ashok M., Madan R., Joha A., Sivarajah U. Ethical framework for Artificial Intelligence and digital technologies. *International Journal of Information Management*. 2022. Vol. 62. Article 102433. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2021.102433.

7. Bond M., Khosravi H., De Laat M. et al. A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: a call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2024. Vol. 21. Article 4. DOI: 10.1186/s41239-023-00436-z.

8. Crompton H., Burke D. Artificial intelligence in higher education: the state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2023. Vol. 20. Article 22. DOI: 10.1186/s41239-023-00392-8.

9. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2019. Vol. 16. Article 39. DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0.

10. Cotton D. R. E., Cotton P. A., Shipway J. R. Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International*. 2024. Vol. 61, No. 2. P. 228–239. DOI: 10.1080/14703297.2023.2190148.

11. Wang S., Wang F., Zhu Z., Wang J., Tran T., Du Z. Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 252. Article 124167. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.124167.

12. Roll I., Wylie R. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016. Vol. 26, No. 2. P. 582–599. DOI: 10.1007/s40593-016-0110-3.

13. Dwivedi Y. K., Kshetri N., Hughes L. et al. "So what if ChatGPT wrote it?" Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*. 2023. Vol. 71. Article 102642. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642.

14. Perkins M. Academic Integrity considerations of AI Large Language Models in the post-pandemic era: ChatGPT and beyond. *Journal of University Teaching & Learning Practice*. 2023. Vol. 20, No. 2. Article 7. DOI: 10.53761/1.20.02.07.

15. Long D., Magerko B. What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2020. P. 1–16. DOI: 10.1145/3313831.3376727.

3.3. The Development of Basic Life Skills as a Strategy for Remedial Work with Children with Intellectual Disabilities

Children with intellectual disabilities often face difficulties that limit their interaction with the world around them. They may be slower to acquire new knowledge, avoid unfamiliar situations, or have limited social experience. Therefore, remedial work must encompass not only the learning process but also the development of emotional well-being and the creation of a sense of stability and psychological comfort. The psychological and pedagogical profile of children with intellectual disabilities includes a range of manifestations arising from the influence of biological factors and the educational environment. To this end, specialists – remedial teachers – must study the mechanisms of adaptation and psychological support for children with intellectual disabilities within the educational environment. Teachers must master new techniques aimed at developing speech, memory, attention and social skills.

Research in this field enables us to identify the most effective methods, adapt the curriculum and support the child in their personal development. This is of paramount importance, as successful remedial work influences the child's future prospects, their integration into society and their ability to live independently.

The variety of manifestations of intellectual disabilities requires individualised approaches, as what works for one child may be less effective for another. It is therefore important to explore methods of organising the remedial process that ensure a gradual, structured and clear presentation of the material. Research by academics and practising teachers helps to identify factors that promote cognitive activity and to determine the conditions under which a child feels supported and can expand their own experience.

The emotional sphere of children in this category is characterised by specific features. Although their reactions may be swift, they are often insufficiently controlled, which creates difficulties in interacting with peers. Children are often unable to interpret subtle social cues correctly and therefore require more detailed explanations of social situations. A lack of communicative experience can lead to anxiety or even avoidance of group interactions.

Scientific research views social interaction as a process requiring specially organised support [5].

Social interaction usually begins with simple stages. Children want to communicate but do not always know how to do so, which can lead to their exclusion from group activities. They respond to direct instructions, but their engagement is often inconsistent. When carrying out joint tasks, they try to copy others, but if the situation changes, they find it difficult to maintain a logical sequence of actions on their own.

Most tasks require constant support from them. This aspect is analysed in detail by O. Steblyuk, who demonstrates that creating a predictable environment reduces anxiety and helps to stabilise social behaviour [11].

Communication skills develop slowly. Children may know individual words, but do not always use them in context. They may repeat phrases without understanding their meaning. Group interaction requires specially organised support, as children often do not initiate contact and wait for an adult's response. They respond to simple instructions, but perceive complex speech structures only in fragments. Work on communication should cover not only language skills but also social skills [5].

The language development of children with intellectual disabilities proceeds more slowly, depending on the nature of the disabilities and the environment in which they are brought up. Many of them experience delays in vocabulary development, difficulties in understanding nuanced meanings and limited use of grammatical structures; their passive vocabulary may be larger than their active vocabulary, yet word formation and sentence construction are usually limited to simple structures. Such children often want to express their thoughts but do not always find the right words, which causes difficulties in communication. When giving descriptive accounts, they focus only on individual details, losing sight of the overall sequence. Their responses are often monosyllabic, and understanding adult speech requires repetition and visual cues. Research emphasises that musical-rhythmic and articulation exercises facilitate the development of speech skills, as they engage motor and sensory mechanisms that are more readily understood by these children. They can only follow complex instructions with visual support and repetition. Scientific sources emphasise the importance of speech and language therapy and remedial speech support in such cases [10].

An inclusive environment should provide not only educational but also communicative opportunities, enabling the child to gain experience of verbal interaction in various forms [4].

Cognitive processes in children with intellectual disabilities are characterised by unevenness; they demonstrate a different dynamic in the development of cognitive actions, distinct from typical development. Cognitive impairments are accompanied by difficulties in information processing. Children largely rely on visual or tactile cues, as verbal instructions are not fully understood. Often, a child's behaviour is based on repeating actions through imitation rather than on an understanding of the situation. Analytical skills develop slowly, and learning tasks need to be broken down into small steps. When interacting, children become confused if an instruction consists of several parts. Simplifying the way material is presented creates conditions for increased engagement and helps to reduce the stress that arises during information processing [4].

Memory development in children occurs very slowly. In the early stages, involuntary memorisation predominates over voluntary memorisation, and the amount of information retained is usually limited. Their reduced ability to retain learning material and limited working memory capacity are notable. Children can focus on details, but find it difficult to see the bigger picture. Identifying cause-and-effect

relationships is challenging for them. These ideas are also supported by research emphasising the importance of structured activities and clear steps to reduce learning difficulties and sustain attention. Children easily remember vivid, emotionally charged events, but they may forget learning instructions more quickly. To successfully recall information, they need repetition, the use of visual aids and hands-on activities with objects. Visual images are remembered better than verbal statements, so teachers should use concept maps, flashcards and models in the learning process. Scientific research confirms that memory retention is enhanced only through gradual learning and repeated practice spread out over time [6].

Cognitive processes in children with intellectual disabilities develop more slowly, which affects their ability to work with generalisations; their thinking is usually concrete, whilst their ability to plan actions remains underdeveloped and is characterised by a tendency towards a concrete approach and difficulties in establishing cause-and-effect relationships. Children can replicate sequences of actions, but find it difficult to grasp their logical structure. Tasks requiring abstract thinking are mastered slowly by children, often requiring considerable assistance. Transitions from concrete images to abstraction are often complicated by an emotional reaction to their complexity. The ability to transfer acquired knowledge to new situations develops slowly. The development of abstract thinking is most effectively achieved through step-by-step exercises that integrate visual materials, practical tasks and verbal guidance. This often leads to difficulties in creating even simple algorithms. Children may be attentive, but are not always able to maintain a logical connection between the parts of a task. Their work is slow, and external prompts are needed to help them focus on the outcome. Their thinking develops within the framework of concrete experience, and abstract tasks are challenging for them. Even if a child performs an action correctly at a given moment, they find it difficult to apply this to a different situation. They rely on examples and are not yet able to find solutions independently. The development of thinking occurs through prolonged interaction with objects and the repeated performance of similar actions in various forms, which ensures the gradual consolidation of mental operations [13].

Learning situations that require generalisation cause stress and rapid fatigue. These characteristics are linked to the need to apply remedial and developmental methods that combine visual aids with a gradual increase in the complexity of tasks, as it is the structure of the tasks that determines the level of children's engagement in the learning process [7].

Children's behaviour reveals a reduced capacity for self-regulation, characterised by the rapid onset of emotional reactions and low stability of emotional responses. This complicates their interaction within a group, as children often fail to understand the intentions of others or misinterpret commonly accepted social cues. As a result, difficulties arise during play, which often takes on stereotypical or repetitive forms. The process of developing the ability to control one's own actions progresses slowly; therefore, the teacher must structure the learning process so that each step is clear to the children. It is important to create conditions for the gradual development of language

and communication strategies, which significantly influence children's ability to navigate social situations. [10].

The emotional and volitional sphere of children with intellectual disabilities has its own unique structure. Independence develops gradually, whilst the ability to control behaviour depends on circumstances and the level of support. Without external reinforcement, a child may quickly lose interest in a task. Transitioning from one activity to another present's difficulties, so the teacher must ensure smooth transitions. Self-esteem also remains unstable and often depends on adults' reactions. The development of goal-directed behaviour in these children occurs through clearly organised activities, systematic support and the gradual expansion of social experience, which helps to reduce impulsivity and increase emotional stability; indeed, it is precisely the children's emotional stability that often remains underdeveloped, manifesting itself in frequent and rapid mood swings. Children may react strongly to minor difficulties, expressing this through intense emotions or by avoiding activities.

They also find it difficult to predict the consequences of their own actions, so mistakes often become a source of stress and lead to a desire to stop what they are doing. To address this, educational support focuses on creating a stable environment that gives children a sense of security during the learning process. Research indicates that emotional responses can be improved through clearly structured lessons and the planning of each change in activity by introducing preparatory stages. Emotional support and predictable conditions reduce signs of anxiety and help children feel in control of the situation [5].

Children with intellectual disabilities often experience so-called 'emotional swings': at times they may display heightened excitability, whilst at other times they may be passive and avoid social contact. The teacher must take this into account when adjusting the pace and rhythm of lessons, understand the child's state of mind and help to stabilise their behaviour. In an inclusive environment, interaction is based on taking into account each child's sensory and emotional responses and the ability to adapt the space to their needs [10].

Sensory sensitivity in children can be either reduced or heightened. Some children react excessively to sound or light, whilst others barely notice these stimuli. Such sensory perception disorders affect the learning process, slowing down the pace of work and sometimes leading to a refusal to participate in activities. Adapting the sensory environment provides stable conditions for completing tasks and enhances the effectiveness of learning activities [1].

The sensory development of children in this category may be uneven. Some children display heightened sensitivity to sounds or light, whilst others do not react to stimuli that seem obvious to their peers. Sensory impairments can affect the pace of learning and the quality of task performance. They can also cause emotional distress and even lead to refusal to participate in activities. This is why teachers strive to use structured sensory materials and create a predictable environment during lessons. Adapting the environment and reducing sensory overload create the conditions for more stable learning behaviour [1].

Children with intellectual disabilities perceive the world around them in a selective manner. A child may spend a long time looking at a single object, whilst overlooking other details of the situation. Analysing images, diagrams or spatial models presents difficulties, as it requires the simultaneous processing of several features. Sometimes there is an excessive focus on detail, whilst at other times generalisations are made based on random features, which complicates learning tasks involving comparisons, classifications or spatial transformations. V. Tarasova's research [14] notes that the perception of time and sequence is also unstable; consequently, remedial work should include exercises on structuring events and recalling them.

In the educational activities of children with intellectual disabilities, the emphasis is placed on accessible methods of learning. Children demonstrate better results when they are able to interact with objects physically or manipulate them in space. They do not always yet realise the purpose of their actions, but they do respond to clear, concisely formulated instructions. When a task is too abstract, such children may become distracted by extraneous stimuli. The use of computer graphics and multimodal resources simplifies the acquisition of complex concepts, thanks to visual perception and spatial representation. Play-based activities are of particular pedagogical importance for this group of children, as play helps to reduce emotional tension and allows them to learn new actions without coercion. Whilst playing, children feel more at ease and willingly repeat movements and verbal patterns, even though their games are mostly of a similar type and have simplified plots.

The development of motivation in children with intellectual disabilities depends to a large extent on external support. Children do not usually take the initiative on their own and require additional incentives. If a task takes too long or seems difficult, they quickly lose interest. Positive reinforcement and consistent prompts help to sustain their engagement and foster the habit of seeing tasks through to completion. This structure of motivational support involves a combination of verbal instructions, gestures and tactile cues as a means of developing self-regulation [3].

The acquisition of new knowledge by children with intellectual disabilities is largely determined by how the learning material is structured. Information presented in a concise and clear manner, with clear guidelines, makes it much easier to understand. As understanding the sequence of events is often difficult, skipping certain stages can lead to a misinterpretation of the task as a whole. When introducing new material, the teacher must take into account the importance of repetition for the pupil. At the same time, the development of social competence is possible when the child is given the opportunity to follow the sequence of actions and realise their own role in group activities.

Learning difficulties are often linked to a low level of voluntary attention. Voluntary attention remains unstable, whilst memory is situational in nature. Such children respond better to visual stimuli and clearly structured tasks. To ensure the effective progression of developmental processes, it is important to rely on practical activities and provide step-by-step support. [9]

Children with intellectual disabilities have an unstable attention span that is quickly exhausted; they can only concentrate for a short time and require external cues to return to the task at hand. They are easily distracted by external stimuli and find it difficult to concentrate for prolonged periods. Learning tasks should be kept short and alternated with active breaks. The use of digital tools helps to maintain attention better, as it engages both visual and auditory channels of perception simultaneously, which enhances concentration and facilitates the absorption of information [8].

Teachers need to adjust the pace of the lesson and introduce short breaks to maintain the children's concentration. They respond better to visual cues than to verbal ones. Studies emphasise that the use of information and communication technologies facilitates concentration, as it combines visual and auditory channels of perception [8].

The process of imagination has certain limitations. Children do not usually invent new images on their own; instead, they tend to reproduce what they see or do in real life. Imaginary actions are performed slowly and often require demonstration by adults. The difficulty in visualising future actions complicates the planning process. This can affect play, drawing and modelling. Although atypical experiences in children should not be regarded as a disorder, they should be viewed as a natural part of development. Therefore, the educational process must take into account the individual characteristics of a child's imagination. Children may draw or build, but they usually reproduce familiar patterns. They find it difficult to create new images, as their imagination develops very slowly. Creative tasks require adaptation and the use of sensory materials. Participation in group activities also has its own characteristics: a child may be present in the group but not take an active part in the interaction. They observe others but do not copy their behaviour, and carrying out joint tasks is only possible with clear instructions. Social competence develops slowly, requiring constant support. Such children are characterised by uneven development of cognitive, emotional and social functions; therefore, working with them requires clear logic, a step-by-step approach and repetition. Learning situations are organised to reduce stress, maintain interest and enable the child to work within their capabilities. Remedial interventions are aimed not at accelerating development, but at creating conditions for broadening experience without overloading the child. An individualised approach takes into account the child's pace of work, attention span, sensory characteristics and communication abilities. In their interactions, children need consistent rules and predictable transitions between activities. This reduces frustration and helps them to focus on the task at hand.

The development of daily living skills among children in this category is uneven. For many children, mastering these skills does not come straight away, as they require not only an understanding of the actions but also the sequence in which they are carried out. A child may remember individual steps but will be unable to put them in the correct order independently without prompting. This applies to getting dressed, using hygiene items and organising their workspace. Even familiar actions require a repeat explanation after a break.

A child may carry out familiar routines but forgets new actions after only a short time. They require a repeat demonstration and external supervision. A change to their usual routine causes confusion. Even personal hygiene tasks take a long time to master, as confirmed by the practice of special needs education. Gradual training in social and daily living skills promotes more consistent performance, but requires a significant number of repetitions and stable conditions without sudden changes in the environment.

Children's perception of time and the sequence of actions also have its own characteristics. They find it difficult to orientate themselves in terms of time and do not always understand the duration of processes or their sequence. This affects their ability to plan actions and organise their work. Disruptions to the temporal organisation of behaviour complicate learning processes. Correcting the perception of time requires specialised training and the use of visual aids [14]. Visual diagrams, timers, brief instructions and clear step-by-step procedures help children to navigate the structure of a lesson. Adult support is gradually reduced as soon as the child masters' new tasks. The development of independence takes place in small steps: first imitation, then performing the task with prompts, and finally, completing the task independently. This method ensures the gradual accumulation of experience and the development of a sense of control.

To optimise the educational process, individual and group programmes of psychological and pedagogical support are developed; these take the form of a set of measures that take into account the child's developmental characteristics, behavioural dynamics and the conditions of the learning environment. These programmes encompass the processes of assessment, planning, implementation and monitoring. Their aim is to support emotional stability, develop cognitive functions, build communication skills and facilitate adaptation to a structured educational environment.

Individual programmes are based on an in-depth analysis of the needs, strengths, sensory responses, communication abilities and level of self-regulation of a child with intellectual disabilities.

Individual programmes are developed following an initial psychological and educational assessment, which evaluates the child's attention span, memory, emotional reactivity, language abilities and readiness for activities. The specialist analyses which task the child can perform independently and which require structured support. A support plan is then drawn up. For example, if a child has a low tolerance for sensory stimuli, the programme includes sensory breaks, breathing exercises and short activity sessions. If a child shows frustration when switching between tasks, the teacher introduces visual schedules, timers and brief, predictable instructions. Individual programmes also take learning styles into account. Some children process information better through movement, others through visual diagrams, and some through repeated practice. In each case, the teacher develops a set of strategies tailored to the child's current needs [9].

Group programmes create a foreign-language environment for learning to interact, observing behavioural models and developing social skills. Both approaches

complement one another, as individual work helps to develop basic skills, whilst group practice helps to consolidate these skills in the context of real-life interaction with others.

Psychological and educational support includes engagement with parents, which is an integral part of the process of supporting a child's development.

Tailored programmes provide consultations in which a specialist offers parents evidence-based advice on methods to support their child's development at home. For example, when a child is learning to follow a routine, parents are advised to create visual guides for getting ready in the morning or carrying out an evening routine. If, on the other hand, a child is experiencing behavioural difficulties, parents are encouraged to follow simple response strategies: stop, give a brief instruction, pause, and redirect their attention.

Group programmes may include specialised training sessions for parents, during which they have the opportunity to observe their children's behaviour and learn how to model supportive play situations.

Psychological and educational support is characterised by its systematic approach. Programmes are not static. The teacher analyses changes in behaviour, skills and the child's capacity for independence. If the child develops new skills, the programme is updated. For example, if a child was previously only able to follow simple instructions but is now ready for two-step tasks, the content of the programme changes. If a child's stamina increases, the elements of group work are expanded. If a child shows regression or signs of overexertion, the teacher temporarily reverts to simpler tasks. This dynamic approach aligns with the natural pace of development [14].

Individual and group programmes promote the development of adaptive behaviour. The child learns to perceive new situations, control their reactions, carry out tasks and interact with other people. Each stage involves support, which is gradually reduced. The main aim of these programmes is to teach the child to act as independently as possible. Developing independence helps to reduce anxiety, strengthen a sense of control and foster intrinsic motivation.

References

1. Kovalenko, O. (2023). Features of organizing the educational process in an inclusive classroom. *Vyshcha Osvita Ukrainy*, 2, 70–79.

2. Kovylina, V. (2023). Correctional work with the family of a child with developmental disabilities. *Dydaktyka*, 4–5, 53–58.

3. Kovylina, V., & Tsyhanova, A. (2023). Speech therapy work with children with general speech underdevelopment. *Perspektyvy ta Innovatsii Nauky*, 14(32).

4. Kolomiichenko, O. (2021). Correctional work with children with autism spectrum disorders in an inclusive educational environment. *Osvita Osib z Osoblyvymy Potrebamy: Shliakhy Rozbudovy*, 1(16), 177–192.

5. Krynytska, I., & Skochko, M. (2024). Work with children with disabilities in the social protection system. *Vvichlyvist. Humanitas*, 4, 106–114.

6. Mykoliuk, S. M. (2025). Psychosocial work with children in wartime conditions. *Sotsialna Robota ta Psykholohiia: Osvita i Nauka*, 2, 42–46.

7. Mykhaskova, M., & Morozova, O. (2024). Correctional and developmental work with children with special educational needs in music lessons. *Perspektyvy ta Innovatsii Nauky*, 12(46).

8. Pavlyk, V. Yu., & Samarai, V. P. (2023). The use of information and communication technologies in inclusive education. *Infokomunikatsiini ta Kompiuterni Tekhnolohii*, 2(04), 205–212.

9. Pliushch, I., & Bohdan, T. (2025). The impact of developmental games on the intellectual development of preschool children. *Naukovi Innovatsii ta Peredovi Tekhnolohii*, 5(45).

10. Savinova, N., & Lialiakina, Yu. (2025). Analytical narratives of corrective and speech therapy interaction for the development of coherent speech in children with intellectual disabilities. *VIII International Scientific and Practical Conference "Grundlagen der modernen wissenschaftlichen Forschung"*, 205–207.

11. Stebliuk, S. V. (2024). Health-preserving technologies in an inclusive educational environment. *Pedahohichna Innovatyka: Suchasnist ta Perspektyvy*, 3, 43–47.

12. Stryhunova, A. (2021). Diagnosing the development of communication skills in primary school children with intellectual disabilities. *Osvita Osib z Osoblyvymy Potrebamy: Shliakhy Rozbudovy*, 1(13), 427–433.

13. Taranchenko, O. (2021). Atypicality as natural diversity in an inclusive environment. *Osvita Osib z Osoblyvymy Potrebamy: Shliakhy Rozbudovy*, 1(13), 239–246.

14. Tarasova, V. V. (2022). Peculiarities of forming perceptions of temporal concepts in children with intellectual disabilities. *Visnyk Luhanskoho Natsionalnoho Universytetu Imeni Tarasa Shevchenka. Pedahohichni Nauky*, 1(349), Part 2, 240–249.

3.4. Innovative Approaches in Teaching the Subject Defense of Ukraine

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У ВИКЛАДАННІ ПРЕДМЕТУ ЗАХИСТ УКРАЇНИ

Вступ У XXI столітті система освіти переживає глибокі трансформації, зумовлені впливом глобалізаційних процесів, стрімким розвитком цифрових технологій, а також зростаючими суспільними запитами до якості та змісту освіти. В умовах динамічного суспільного поступу інновації у педагогіці стають не лише бажаними, а й необхідними елементами ефективного освітнього середовища. Актуальність дослідження інноваційних педагогічних технологій визначається потребою у формуванні нового покоління фахівців, здатних до креативної, автономної діяльності та безперервного саморозвитку. Модернізація освіти сьогодні неможлива без активного впровадження інноваційних методів і технологій навчання, які не тільки забезпечують високий рівень засвоєння знань, але й створюють умови для самореалізації особистості, формування критичного мислення, розвитку дослідницьких і комунікативних навичок. Інноваційна педагогічна діяльність вимагає нових підходів до організації освітнього процесу, змін у ролі педагога, змісті навчання та характері взаємодії між учасниками освітнього процесу [1].

Реформування сучасної системи освіти тісно пов'язане з активним входженням у цифрове освітнє середовище, широким впровадженням новітніх інформаційних, комунікативних та соціальних технологій, які відкривають нові можливості для формування здатної до самостійної життєдіяльності, мобільної та конкурентоздатної молоді. Побудова цифрової економіки, а разом із нею – цифрової освіти, є пріоритетним напрямом державної політики багатьох країн, включно з Україною. У цьому контексті оновлена освіта постає як важливий чинник не лише індивідуального розвитку особистості, а й трансформації суспільства в цілому.

В національному та міжнародному вимірах інноваційну освітню діяльність трактують як систему цілеспрямованих дій, спрямованих на модернізацію методичної, науково-педагогічної, матеріально-технічної, організаційної та цифрової інфраструктури освіти. Її реалізація відбувається через проєкти, програми та партнерські ініціативи, що об'єднують заклади освіти, місцеві громади, наукові установи, громадські організації й державні інституції. Отже, інноваційна діяльність у сфері освіти постає не лише засобом оновлення змісту навчання, а передусім формою педагогічного та суспільного діалогу, покликаного сприяти сталому розвитку, інтеграції в європейський освітній простір і формуванню особистості майбутнього — автономної, креативної та здатної до відповідальних дій в умовах глобальної нестабільності [1, 2, 4].

У контексті предмета «Захист України» інноваційна педагогіка переживає справжній фундаментальний зсув. Міністерство освіти і науки України повністю реформувало цей курс, перетворивши його з пасивного зазубрювання застарілих статутів на практичний тренінговий інтенсив із застосуванням новітніх військових та цивільних технологій. Міністерство освіти і науки України запровадило інноваційний освітній проєкт за темою «Теоретико-методичні засади викладання навчального предмета / інтегрованого курсу "Захист України"», який дасть змогу осередкам відповідно до Державного стандарту профільної середньої освіти вивчати оновлений предмет уже цього навчального року [2, 3, 5].

Вивчення предмета «Захист України» з 1 вересня буде проводитись у спеціально створених по всій країні осередках (орієнтовна кількість – 1200). Вони об'єднають учнів із кількох закладів освіти, що забезпечить високий рівень підготовки та ефективне засвоєння знань. Також МОН продовжує роботу над створенням оптимальних умов для вивчення предмета «Захист України» і працює над наказом щодо поділу класів на групи. Такий підхід гарантуватиме ефективніше засвоєння матеріалу та дасть змогу учням і ученицям набувати потрібних практичних навичок. Документ пройшов громадське обговорення, МОН опрацювало та врахувало зауваження та пропозиції, а далі – процедура погодження і публікація наказу. Запровадження нової Модельної навчальної програми є важливим кроком для адаптації освіти до сучасних реалій та підвищення рівня готовності молоді до захисту своєї країни. Осередки створюють можливості для ліпшої підготовки учнів, забезпечуючи доступ до сучасних методик навчання та інноваційного обладнання. Цього року зміни стартують у 10

і 11 класах, де предмет викладатимуть за новою Модельною навчальною програмою в осередках. Залучення учнів із різних закладів освіти до одного осередку підвищить якість навчання та забезпечить єдиний стандарт підготовки в усіх регіонах країни [6, 7, 8, 14].

Цього року випускники шкіл стали першими українськими старшокласниками, які пройшли повний шлях реформованого курсу "Захист України". За два роки впровадження реформи по всій країні на базі навчальних закладів створили 963 осередки та залучили для навчання у них понад 300 тисяч учнів, використавши 2 млрд гривень державних інвестицій в інфраструктуру та понад 120 млн гривень інвестицій в професійний розвиток вчителів. Що змінилося для учнів та педагогів, чого насправді мають навчати предмети з підготовки до національного спротиву, і як саме має виглядати здорова мілітаризація суспільства, дискутували на форумі "Захист України: урок, який не закінчується". Шкільний курс не готує військових спеціалістів. Про те, що впровадження нового підходу у навчанні школярів не є тотожним підготовці професійних військових, які вже готові виконувати бойові завдання, на форумі говорили багато. Це дуже важливий меседж, який мають почути й самі учні, і їхні батьки, і педагоги, які дотичні до викладання [15].

Дворічне вивчення оновленого предмету "Захист України" у школі, а також подальше проходження курсу з національного спротиву, який викладатимуть для студентів коледжів чи вишів, не означає ні автоматичного набуття військової спеціальності, ні факту, що людина вже вміє воювати.

"Ніхто не стверджує, що 100% учасників або випускників програми мають бути військовослужбовцями. Це просто нереально. Але насправді "Захист України" як шкільний курс, на мою глибоку думку, має на меті виховати, в першу чергу, громадянина, - впевнений Ігор Шелепйонок "Мактавіш", головний сержант 12-ї бригади спеціального призначення "Азов". - Мова йде про громадянську відповідальність". І дуже важливо, і з цим були згодні більшість спікерів форуму, пояснити дитині, навіщо їй потрібні ці знання та навички. Що навіть у будених реаліях війни це - фундаментальна базова життєво необхідна підготовка. Кожен має вміти надати першу до медичну допомогу, знати, як захистити себе, як реагувати та діяти в критичній ситуації, розумітися в азах мінної безпеки. "Якщо ми говоримо навіть про такі більш невійськові компоненти "Захисту України", то більша частина з них - це про наше повсякденне життя. Наприклад, інформаційна безпека - це дуже важливо, особливо, коли ми бачимо, наскільки різні інформаційні вкиди впливають на суспільство", - пояснює Ярослава Братусь, керівниця аналітичного відділу фонду "Повернись живим" [16].

Тож, якщо навички надання медичної допомоги чи мінної безпеки - це те, що може врятувати життя у будь-якій момент, то навчання суто мілітарним навичкам - це шанс зокрема й позбутися ілюзій, що, пройшовши курс "Захист України", людина готова воювати. Про це на форумі частіше за все говорили самі військові. Бо це скоріше про формування культури навчання, спроба позбавити

молодь міфів та стигм щодо армійської служби, які формують страх. “Мені, як нормальній людині, колись теж було страшно. З іншого боку, я розумів, що тікати не буду. Але я - фехтувальник, боюсь, що ці навички мені б не допомогли, - розповів свою історію міністр освіти та науки Оксен Лісовий. - Тому я пішов на навчання в громадську організацію і зрозумів, як можна правильно організувати навчання цивільних, якщо підходити до них як до цивільних, не як до військових, з елементами необхідної жорсткості, але з поясненням, для чого це тобі, чому це в твоїх інтересах”. Пан міністр зізнався, що саме тоді він побачив необхідність у створенні справжніх курсів для цивільних. Тому, коли трапилася нагода, і його “мобілізували” на посаду міністра, Оксен Лісовий, не вагаючись, розпочав рух до втілення цього курсу. До практичної частини реформи активно долучилися військові, зокрема полк “Азов”, але процес навчання дітей наразі залишається прерогативою педагогів, бо, як підкреслюють спеціалісти, навіть дуже досвідчений військовий, не завжди має знання та навички для навчання цивільних, тим більш, підлітків. Але цього можна навчити, в обидва боки, як педагогічних працівників, так і ветеранів [17].

За словами міністра, через систему інститутів післядипломної освіти були законтрактовані сертифіковані тренери. Десь з підтримкою і допомогою громадських організацій, “Азова” , інструкторів бойової підготовки ДСНС або долучався “Червоний хрест” до тренінгів за напрямками. “Станом на зараз [працюють] 4345 ваших колег, вчителів, викладачів “Захисту України”, людей, які проводять молоду людину, підлітка зі світу сумніву до світу впевненості в собі, - нагадав про підготовку викладачів у своєму виступі пан Лісовий. - 95 тренерів підготовлених, класних, відібраних на конкурентній основі. 80 супервізорів для того, щоб спільнота працювала. Для того, щоб ми обмінювалися, мали зворотній зв’язок, обмінювалися між собою своїм досвідом, допомагали один одному”. Людський капітал. Аналітичний відділ “Повернись живим”, за словами Ярослави Братусь, багато уваги приділяє саме дослідженню людського капіталу, тому що розуміє, що люди - основа всього. “Ми на людський капітал дивимося з точки зору, в першу чергу, підсилення війська. Тобто, залучення людей до війська, питання професійної військової освіти, підготовки, кадрового менеджменту і роботи з ветеранами, - розповідає пані Ярослава, - Але з останнього нашого дослідження, яке стосується мобілізації, ми помітили, що набагато важливіше звертати увагу на середовище, в якому проживають військовозобов’язані, середовище, з якого фактично людина заходить у військо. І коли ми говоримо про середовище, то це і є робота з родинами, робота по національно-патріотичному вихованню з молоддю” [18].

Власне, про формування цього середовища під час вивчення предмету “Захист України” на форумі говорили дуже багато. Головне питання - яким чином заохочувати молодь, змінювати погляд на обов’язок захисту своєї країни, навіть якщо з власної родини та інтернету дитина приносить негативізацію та заперечення. “Ми змінили підходи, і це дуже важливо, тому що сьогоднішній підліток живе в реальному світі. Він користується медіа, для нього відкрита вся та

інформація, яка, очевидно, відкрита і для дорослих. І він бачить те, як виглядає реальна війна сьогодні, - пояснює Оксен Лісовий. - Він повинен розуміти реальні виклики, які можуть трапитися сьогодні. І він повинен розуміти, що його знання і навички, яким навчає вчитель в осередку, відповідають тій реальності, яку він бачить через екрани своїх гаджетів". Тому замість зазубрювання статутів сучасні, старшокласники на уроках вивчають до медичну допомогу на реалістичних манекенах та надсучасному обладнанні, вчиться керувати БПЛА, розуміють аспекти цивільного захисту, опановують стрілецьку зброю, практикуються в навичках медіа грамотності. І це - не формальні зміни "для галочки", хоча педагоги, особливо старшого віку, в кулуарах скаржилися на відсутність в програмі годин на "стройову", мовляв, на неї ж тримається дисципліна. Але якщо подивитися, як ті самі вчителі у перервах ставали в чергу для тестування запропонованих виробниками прикладів сучасних симуляторів, віртуальних тирів та іншого обладнання, які можна закупити в осередки, то стає зрозумілим: дисципліна походить не тільки зі стройової, а з зацікавлення, сучасного облаштування центрів, закоханості самих вчителів у справу, яку викладають [11].

"Повірте, ця "стройова" - це такий засадничий елемент всіх дискусій по "Захисту України" останніх трьох років, - відповіла на питання медіа НУШ народна депутатка Інна Совсун, яка є однією з активних ініціаторів та рушіїв впровадження цього курсу, - Викладати по-новому складно. Але я вважаю, що з "Захистом України" нам більше вдалося, ніж не вдалося. Бо попри те, що вони кажуть, що їм складно, вони роблять по-новому. Вони спілкуються з новими викладачами, які абсолютно по-новому викладають, діляться досвідом, у них є десятки чатів між собою, де вони взаємодіють. Так, тримати дисципліну складно, але ж не тільки на цьому предметі. Але на фізиці ніхто не змушує маршерувати для того, аби її втримати. Будь-яка реформа, яка передбачає зміну поведінки людей, вона є найскладнішою. А в освіті всі реформи передбачають зміну поведінки людей. Тому ми дуже-дуже багато часу і зусиль інвестували в роботу з вчителями. Це ключовий елемент будь-якої реформи системи освіти". До речі, молоді викладачі з Рівного та Дубно, які з задоволенням тестували обладнання, на нестачу стройової не скаржилися. Сергій Конюський з рівненського ліцею "Лідер", наполягав на розумному розподілі годин, бо раз в місяць вісім уроків поспіль важко дітям та педагогам. Та й якщо учень захворів чи поїхав на змагання - пропускає дуже великий обсяг. Логічніше для засвоєння інформації, на його погляд, розділити це на два рази в місяць [12].

"У нас вже два роки працює осередок. Забезпечені добре, але завжди хотілося б краще Приїжджаєш на такі форуми, бачиш кращі зразки, хочеться вже все це собі, - зізнався його колега з Дубно. - Звісно, у нас є проблеми, але випадків відмови від навчання "Захисту України" не можу пригадати жодного. Навіть учні приватної християнської школи, які знаходяться в секторі осередку, відвідують заняття". А для того, щоб знаходити спільну мову з дітьми різних категорій, зокрема з сімей, де є чинні військові, загиблі чи зниклі безвісті, вони регулярно проходять психологічні курси в рамках підготовки викладачів предмету.

Наступним кроком до успішності нового підходу стала абсолютна та широка залученість різних горизонталей та вертикалей структур до втілення програми. "Дуже вдячний за те, що ця робота не стала роботою тільки Міністерства освіти. Тут і державні органи, Міністерства освіти, оборони, внутрішніх справ, ветеранів, фінансів, цифрової політики, Верховна Рада, - підкреслив Оксен Лісовий, - Тут і бойові підрозділи. На волонтерських засадах долучилися багато громадських організацій і навчальних закладів - приватних, державних, позашкільних. Я дякую інститутам післядипломної освіти, які включились в підготовку педагогів, дякую департаментам освіти на місцях". Той самий "людський капітал" не можна напрацювати одним разом, одним роком, одним заходом, важлива система, яка успішно працює з підлітковою аудиторією. "Йдеться про такий соціальний ліфт, як змагання. Ви знаєте, що перша така пілотна спроба проведення змагань у нас відбулась успішно. Зараз положення про ці змагання проходить через Міністерство освіти, - пояснює Лісовий. - Будемо розгортати каскад: змагання в осередку, змагання в громаді, змагання в рівні області, національні змагання з "Захисту України". Це дуже важливий інструмент змагального методу мотивації для зростання. І по-друге, це соціальний рівень: підлітки знайомляться з подібними собі, людьми подібного рівня, з подібними інтересами, знайомляться з командами дорослих людей. Бригади, які долучаються до цього, оборонні технологічні компанії тощо. Тому це обов'язковий компонент" [15].

Мілітаризація, формування свідомого громадянина та навички виживання. На форумі часто згадували "Азов", бо він став одним із найбільших партнерів цієї реформи. "Як на мене, цей предмет повинен сформувати не так як в майбутніх рекрутів, хоч би мені, як командиру бригади, це хотілося. Але як здорове суспільство, - впевнений Богдан "Пугач" Грішенков, підполковник, командир 12 бригади спеціального призначення "Азов" НГУ. - Я сподіваюсь що цей предмет, крім загальної історії по обороні держави, ще навчить учнів не бути егоїстами. І я думаю, що це вийшло, бо підібрали саме людей, котрі зацікавлені в цьому розвитку, хто бачить тут в цьому інтерес. Інтерес, я певен, не особистий, інтерес загальний. І саме зараз відбувається вклад в майбутнє. Це "зіграє" не наступного року, не через п'ять років, але я певен, що обов'язково за 10, 15, 20 років - обов'язково, щоб ми жили достойно". Учасники обговорення підкреслювали, що наразі не стає мета запровадити "курс молодого бійця" у кожній школі, йдеться про закладання глибинних ціннісних орієнтирів та важливих навичок [9].

Серед обов'язкових цілей реформи військові, що виступали, називали формування так званої "культури готовності", коли кожна цивільна людина розуміє, про які дії йдеться, коли кажуть про спротив, як саме це відбувається і які знання та навички можуть знадобитися. Тому, власне, формування базових навичок - друга важлива ціль. І третя - виховання свідомого та дієвого громадянина, який вміє та бажає захищати себе, інших та державу. Педагогічна спільнота сподівається, що цей курс допоможе підліткам позбутися страхів та негативу щодо армії, стимулюватиме формування лідерських якостей, надасть свідомої вмотивованості та дозволить без остраху приміряти на себе певні

соціальні ролі. Громадські активісти теж наголошують на важливості набуття компетентностей для виживання та спротиву, але впевнені, що головне - почуття відповідальності, яке має бути ними підкріплене. Бо тільки це може сформувати таку необхідну для збереження країни та нації опцію - відчуття цінності взаємовиручки та об'єднання. Саме ці важливі орієнтири і відрізняють "здорову" мілітаризацію суспільства, яке захищається від загарбника, від того, що відбувається зараз на окупованих територіях та в самій росії: патріотизм без карикатурних, але чітко пропагандиських заходів побєдобєсія, без мілітарної агресивної риторики до всього світу, без немовлят в пілотках та безумовного вихваляння вічного керманича. Тож, у Міністерстві освіти та науки планують продовжувати реформування, бо вважають перші роки доволі успішними. Щоб вийти на 80% охоплення, планується наступного року відкрити ще 160 осередків. Основний фокус уваги - ті громади, які з певних причин не попали в першу субвенцію і не відкрили свої осередки, але потребують цього. Також в цьому році передбачаємо 28,8 млн грн на навчання вчителів. Заплановано широке долучення до викладання курсу у профтехах та коледжах, де вчяться колишні дев'ятикласники. А для тих, хто заходить після отримання повної загальної середньої освіти, запроваджуватиметься курс національного спротиву [14].

"Розбудова триває. І я хочу сказати, що цю розбудову забезпечуємо ми з вами. Наш захист не може бути сформований в якомусь одному міністерстві, наприклад, оборони. Якби ми покладалися виключно на ініціативу одного міністерства, або якоїсь дуже розумної людини, ми, мабуть, не втримали другу армію світу, - підсумував пан міністр. - І це стосується тих змін, які ми з вами інтегруємо у систему освіти для формування оборонної свідомості громадянина…Це продукт національний, це продукт нашої з вами єдності, нашої з вами спільної інтелектуальної, фізичної і авансійної праці. Я дуже дякую кожному і кожній". Нова модельна навчальна програма отримала гриф "рекомендовано" у 2024 році **і,** власне, з цього моменту почалася реформа предмету "Захист України", яка вимагала кардинально інших підходів й до організації процесу, і до змістового наповнення програми. Бо якщо порівняти програми, які були колись, із тими, які викладають в межах інноваційного проєкту в 963 освітніх центрах по всій країні, то різниця колосальна. У першу чергу, це об'єднані програми для хлопців і дівчат. По-друге, велика частка практичного відпрацювання і менша кількість теорії. Також організація викладання в освітніх центрах, яке відбувається в тренінговому форматі по 8 годин раз на місяць [16].

Ми розуміли, що вчительству потрібні якісні методичні матеріали, щоб викладати за новою програмою. Торік з моніторинговими візитами я об'їздила 13 областей України, у кожному з понад 50 осередків проводила інтерв'ювання вчителів, і, зокрема, ми говорили про їхні потреби. І потреба в розробках і методичних матеріалах – це запит номер один. Тож, сподіваюся, що після того, як ми опублікували наші методичні матеріали, ці посібники зі сценаріями, хоча б одна потреба буде закрита, і вчительству стане легше рухатись далі. Треба було

зробити посібник, який допомагатиме вчителю організувати навчання на цьому практичному тренінгу впродовж восьми годин чи чотирьох годин, залежно від того, які умови були створені в осередку. Він мав би допомогти вчителю викладати в тренінговому форматі, відійти від класно-урочного викладання і робити це помодульно раз на місяць. І тому, реагуючи на цей запит вчительства, ми зібрали команду вчителів, які вже пройшли навчання та стали тренерами, а потім і супервізорами предмета "Захист України". І які мають найновіше бачення того, як має виглядати цей предмет [17].

У результаті вони створили 140 уроків, але насправді ми хочемо, щоб ці сценарії стали не догмами для вчительства, а помічними інструментами, котрі вони можуть комбінувати залежно від запитів їхньої авдиторії, робити ці сценарії гнучкими під учнів і учениць. Бо вони найкраще знають, яка групова динаміка відбувається у них в класах, які теми у пріоритеті, можливо, десь використати окремі ігри, а десь – увесь сценарій. Ідея була – комплексно забезпечити вчителів всіма можливими корисними матеріалами, які є на цю тему, трохи спростити підготовку, підставити плече, щоб в них залишалося більше часу на адаптацію цих матеріалів для дітей. А хто став авторами цих матеріалів? Чи були люди, безпосередньо дотичні до захисту України? - Серед авторів цих уроків є Михайло Купчин — ветеран "Вовків Да Вінчі" і керівник гуртка "Бойові мурахи", Тарас Пристацький — молодший сержант "Хартії" і тренер "Захисту України", в минулому викладач "Захисту України" у Львівському центрі національно-патріотичного виховання. Разом з тим, нас консультували наші партнери – 12-та бригада спеціального призначення "Азов". Вони надавали консультаційну підтримку, наприклад, з наповнення модулів, які стосуються індивідуальних навичок поводження зі зброєю [16].

А всі вчителі які були долучені до розробки цих матеріалів, пройшли посилені програми навчання предмета "Захист України", а потім тренінг супервізорів. Там з ними теж працювали азовці. А як у цій темі взагалі працює система супервізорського навчання? - На старті реформи предмета "Захист України" ми провели дві хвилі навчання тренерів в інститутах післядипломної освіти. Більшість викладачів не були профільними фахівцями, не мали статусів, наприклад, тренера з тактичної медицини, але вони викладали модулі, які стосувалися таких тематик, як основи національної безпеки, інформаційна війна, плануємо майбутнє: моя роль в обороні України, військове управління та планування. Вже влітку 2025 частина з них пройшли навчання як супервізори саме предмета "Захист України". І так професійно зросли, що почали генерувати власний контент і, власне, стали авторами цих уроків в посібниках. Скажіть, цей посібник існує онлайн? - Цей посібник поки що є в форматі електронного, розміщений на платформі Всеукраїнська школа онлайн. Там є два підходи, які ми пропонуємо. Перший - це послідовні сценарії за модельною навчальною програмою. Тобто, розділено по вісім уроків для кожного місяця за чітко структурованою навчальною програмою. Але ми запропонували ще й комбіновані сценарії уроків, щоб учень і учениця, які приходять на заняття в

осередку, змогли одночасно за день познайомитися з тематикою кількох модулів програми. Модулі переплітаються за певною логікою, наприклад, до медична підготовка в умовах воїни, стрілецька підготовка, військове орієнтування, топографія тощо. На практиці, вчительство так, в принципі, по-різному й працює: хтось комбінує різні тематики в один день, хтось один модуль – один день. Послідовні сценарії вже є на сайті, а щоб отримати доступ до комбінованих сценаріїв, треба заповнити форму. Їх можна опрацювати самостійно і спробувати повикладати у такому форматі [15].

Вчителі можуть обрати, в яку "шахматку" скласти свої комбіновані сценарії, якщо виникне така потреба і такий запит. Також чекаємо на відгуки та пропозиції, які готові додавати та втілювати. Це посібник суто практичних навичок, чи дещо більше? - Для нас було важливо, щоб у посібнику були не тільки практичні навички виживання в умовах, в яких знаходяться підлітки, а й підіймалися важливі питання про історію, українське військо та громадський сектор, як важливу складову частину підтримки сил оборони. Ми маємо розповідати дітям про те, яку тяглість має історія українського війська, чому нам, як країні, важливо дбати про демократичні інституції, наші стратегічні партнери – це країни демократичні, на противагу від стратегічних партнерів, які має наш ворог. Програма насправді збалансована і торкається важливих питань, щоб учні подумали й про свою роль, як громадян України. У програмі є такі модулі, як основи національної безпеки, плануємо майбутнє - моя особиста роль в обороні України. У посібнику є різні сценарії уроків, які спонукають підлітків подумати про те, яким чином, наприклад, волонтерський сектор допомагає країні встояти. Як ми, як країна, пройшли від етапу, коли збирали умовно на каримати, до створення великих благодійних фондів, які закуповують супутники й важке озброєння для Збройних сил [17].

Окрему увагу в сценаріях приділили й тематиці військового лідерства, де школярів знайомлять з різними кейсами реальних особистостей. Й історичних постатей України, й чинних військовослужбовців. Спільно з "Суспільне Мовлення" ми зняли ролики для проєкту "Обличчя ЗУ: історії, які надихають". У найновішому ролику – Герой України Лев "Хорус" Пашко, оборонець Маріуполя, командир батальйону 12-ї бригади "Азов". А також Єва Шевченко – школярка, яка з друзями відвідує акції "Free Azov". Прикро бачити, що навіть старшокласники знають багато міфічних історій про цю війну, але геть не знайомі з реальними особистостями, які творять історію. Тому маємо окремий фокус саме на те, щоб вони бачили успішні приклади військових лідерів та військових операцій, вивчали це в історичній перспективі. Дехто думає, що сучасним дітям не треба нічого пояснювати, бо вони живуть у війні і самі все розуміють. Чи говорити про це якнайменше. Бо вони й так травмовані. - Насправді я проти, щоб берегти інформаційний простір дітей та підлітків від будь-яких новин про війну. Навпаки, якщо закривати очі, пробувати згладжувати кути та не пояснювати їм реальність, в якій ми живемо, то в результаті ми

матимемо генерацію, яка нічого не знає про оборону Маріуполя, не чула про справжніх українських героїв, готова слухати ворожу пропаганду [15].

І чесно, мені страшно від такої перспективи, що діти, які провели своє свідоме життя в умовах війни і великої повномасштабної війни, не знають про те, хто такий Друг Редіс, не знають, хто такий Джус, а слухають умовно, російські тік-токи і російські пісні. Але ми не намагаємося їм насадити "ура-патріотизм". Заняття побудовані так, щоб дитина усвідомлено давала собі відповіді на питання: чому я маю залишатися в Україні, чому я маю поважати військовослужбовців, чому я маю долучатися в різний спосіб і використовувати всі свої можливості, таланти, сильні сторони для того, щоб пришвидшити перемогу. У посібнику багато питань для дискусії, які вчитель має проводити з учнями й ученицями. Не просто вивчивши якусь патріотичну пісню чи показавши патріотичний ролик, а наштовхнути на глибинне осмислення, проживання цього досвіду, розуміння історії нашої країни, за що ми воюємо і заради чого. Хочу принагідно подякувати тим, хто допомагав втілювати ідею посібника. Реформи творять люди. Вдячна вам, бо лупати скелю з вами легко! [16].

1. Організаційні та структурні інновації. Створення міжшкільних осередків: Замість неефективних 45-хвилинних уроків щотижня, навчання переведено у спеціалізовані регіональні осередки «Захисту України». Учні з кількох шкіл раз на місяць збираються на цілий день (6–8 годин) для інтенсивних тренінгів та практичних занять. Міністерство освіти і науки України затвердило оновлений перелік засобів навчання та обладнання для викладання предмета «Захист України» у закладах загальної середньої освіти. Оновлений перелік було розроблено на основі зворотного зв'язку від вчителів, зібраного після першого року реалізації інноваційного проєкту. До переліку увійшли: симулятори для управління дронами типу FPV із комп'ютерами, інтерактивні лазерні стрілецькі тренажери, планшети для навчання та сучасне мультимедійне обладнання. Також передбачено манекени для навчання реанімації та надання першої допомоги, турнікети та засоби зупинки кровотечі, комплекти тактичної медицини, тренажери для відпрацювання навичок надання допомоги у разі травм. Серед засобів захисту – оновлені каски та бронежилети, протигази з сертифікатами якості, засоби хімічного захисту. Серед технічних засобів – дрони для практичного навчання, радіостанції для вивчення основ зв'язку та елементи тренажерної траси. Оновлене обладнання дасть змогу навчити учнів і учениць навичок до медичної допомоги, які рятують життя, підготувати їх до використання сучасних технологій у сфері безпеки, розвинути критичне мислення та стійкість до дезінформації, сформувати практичні вміння для дій у надзвичайних ситуаціях. Скасування гендерного поділу: Хлопці та дівчата більше не діляться на окремі групи («військова підготовка» та «медичні знання»). Усі учні навчаються разом за єдиною інтегрованою програмою в групах по 8–15 осіб, що забезпечує рівні права та можливості у здобутті безпекових навичок [17].

Оновлена програма. Упродовж 2024–2026 років модельна навчальна програма «Захист України» впроваджується в межах всеукраїнського

педагогічного експерименту. Заклади освіти, які поки що викладають за старою програмою, також мають відмовитися від гендерного поділу груп. Оновлена програма складається з 10 модулів і спрямована на розвиток практичних умінь. До них входять: до медична допомога, навички управління безпілотниками, тактична медицина, радіозв'язок та інші сучасні технології, що відповідають реаліям воєнного часу. Програма також допоможе учням розвинути емоційну стійкість і вміння діяти в екстремальних ситуаціях. З 2027 року оновлена програма «Захист України» також стане основою для профільного вивчення, де учні зможуть обирати окремі модулі для поглибленого навчання [17].

Навчання в осередках. Замість звичних 45-хвилинних уроків раз на тиждень, нова програма передбачає, що уроки проводитимуть протягом усього дня один раз на місяць. Для цього в громадах створюються спеціальні навчальні осередки, які об'єднають учнів із кількох шкіл. Це дозволить більш ефективно організувати практичні заняття та надавати учням з усієї громади доступ до сучасного навчального обладнання. У грудні держава виділила субвенцію у розмірі 1,74 млрд грн. З них – 1,64 млрд грн на забезпечення цих осередків, 100 млн спрямовано на професійний розвиток вчителів. Громади вже закуповують сучасні симулятори для управління дронами, навчальні тири та інші інтерактивні засоби, що дозволять учням опановувати практичні навички. Обов'язкові дві години на тиждень: Відповідно до оновлених типових освітніх програм, на предмет виділено чіткі 2 обов'язкові години на тиждень для 10–11 класів, що збільшило загальну частку практичної підготовки. Згідно з новою редакцією Типової освітньої програми предмет «Захист України» матиме стабільне навантаження — 2 години на тиждень для 10–11 класів замість попереднього діапазону 1,5–2 години. Це рішення зосереджує увагу на важливості практичної підготовки учнів і учениць до викликів сучасності та гарантує достатній час для якісного засвоєння життєво важливих навичок [17].

Додаткові години дають змогу повноцінно втілити оновлену концепцію навчання, у межах якої старшокласники й старшокласниці опановують сучасні компетентності з безпеки та оборони. Замість лекцій учні й учениці набувають практичних навичок у форматі тренінгів, що проводять у мережі регіональних навчальних центрів. Збільшення тижневого навантаження до 2 годин створює можливості для поглибленого вивчення тактичної медицини, технологій безпілотних систем, протидії дезінформації та інших критично важливих умінь для самозахисту. Зміни набирають чинності з початку 2025–2026 навчального року та стосуватимуться всіх закладів загальної середньої освіти [17].

2. Змістові модулі та новітні технології. Програма адаптована до реалій сучасної високотехнологічної війни та викликів нацбезпеки. Традиційну маршову муштру та фізпідготовку повністю ліквідовано, а фокус зміщено на такі напрями. Технології та БПЛА: Учні вивчають основи аеророзвідки, конструкцію безпілотників та відпрацьовують навички керування на сучасних FPV-симуляторах та реальних дронах. Сучасна до медична та тактична медицина: Відбувається практичне відпрацювання алгоритму MARCH, накладання

турнікетів, використання тампонад, засобів евакуації за допомогою сучасних медичних манекенів і тактичних медкапсул. Інформаційна безпека: Окремий акцент зроблено на протидії дезінформації, виявленні ворожих ІПсО, розвитку критичного мислення та гігієні в кіберпросторі. Радіозв'язок і тактика: Ознайомлення з роботою військових радіостанцій, шифруванням, базовою топографією, орієнтуванням на місцевості та інженерним захистом [12, 13].

3. Інноваційні методи та технології навчання. Сучасний учитель предмета «Захист України» виступає не як суворий командир, а як фасилітатор, коуч та інструктор. Серед провідних методів педагогіки: Гейміфікація та симуляції: Використання інтерактивних комп'ютерних програм для моделювання бойових ситуацій, лазерних інтерактивних тирів для стрілецької підготовки без використання бойових патронів. Кейс-метод і тренінги: Розбір реальних сценаріїв (наприклад, алгоритм дій під час завалу будівлі, хімічної атаки чи виявлення вибухонебезпечних предметів). Проєктне навчання: Створення учнями власних безпекових проєктів (планів евакуації школи, інструкцій із кібербезпеки для літніх людей тощо) [17].

Сучасна матеріально-технічна база та кадри. Завдяки мільярдним державним субвенціям кабінети у міжшкільних осередках повністю переоснащені. Обов'язковим елементом інноваційної педагогіки є залучення до викладання ветеранів російсько-української війни, чинних військових інструкторів та медиків, які пройшли спеціальні програми підвищення кваліфікації та психолого-педагогічної підготовки [18].

Практична частина.

Добірка інтерактивних методів для проведення занять в осередках.

Для проведення занять у міжшкільних осередках предмета «Захист України» найкраще підходять кооперативні, симуляційні та ігрові інтерактивні методи. Вони дозволяють задіяти 100% учнів, відійти від лекційного формату та трансформувати теоретичні знання у стійкі практичні навички.

Нижче наведено збірку інтерактивних методів, згрупованих за ключовими модулями оновленої програми:

1. Модуль «До медична допомога та тактична медицина (MARCH)»

Метод «Коло порятунку» (Метод колової евакуації). *Суть:* Учні діляться на трійки: «поранений», «рятівник», «контролер». За сигналом інструктора «рятівник» має накласти турнікет на кінцівку «пораненого» в умовах обмеженого часу (наприклад, за 30 секунд), коментуючи алгоритм MARCH. «Контролер» фіксує помилки за чеклістом і перевіряє пульс. Після успішного виконання ролі міняються по колу.

Метод «Живий симулятор» (Експрес-діагностика). *Суть:* На спину або груди учням кріпляться картки із описом поранення (наприклад: «*Артеріальна кровотеча з лівого стегна, притомний*» або «*Непритомний, дихання відсутнє*»). Напарник має за 5 секунд оцінити стан «пацієнта» за зовнішніми маркерами та викрикнути першу пріоритетну дію (наприклад: «*Критична кровотеча! Накладаю джгут!*»). Метод тренує швидкість реакції та сортування поранених.

2. Модуль «Військові технології (БПЛА та зв'язок)»Гра-симуляція «Корегувальник та пілот» Суть: Клас ділиться на пари. Один учень стає «пілотом» (працює на симуляторі або керує міні дроном), але має зав'язані очі або не бачить екрана. Другий учень – «корегувальник» бачить карту або екран монітора і дає чіткі лаконічні команди за правилами радіообміну (наприклад: «Другий, праворуч 5 метрів, зависни. Прийом»). Метод розвиває навички координації, просторової орієнтації та професійної комунікації. Кейс-метод «Кіберпастка». Суть: Групам видають реальні або змодельовані скриншоти з месенджерів (нібито від побратимів чи волонтерів) та завдання визначити фішингові посилання, ознаки ІПсО або шпигунські боти. Учні мають за 10 хвилин провести «розслідування» та презентувати правила безпеки для конкретного кейсу.

3. Модуль «Тактична підготовка та топографія»

Метод «Акваріум» (Тактичне планування). *Суть:* Мала група (4–5 учнів) сідає в центр класу («акваріум») і отримує тактичну задачу: наприклад, прокласти безпечний маршрут виходу групи з лісистої місцевості за допомогою топографічної карти та компаса, враховуючи «водні» (перекрита дорога, замінована ділянка). Решта класу сидить навколо, слухає хід думок і логіку ухвалення рішень, а наприкінці аналізує та пропонує свої корективи.

Інтерактивний тактичний квест «Азимут». *Суть:* Замість нудного вивчення масштабів, осередком ховаються «контрольні точки» (QR-коди або картки). Учні отримують першу картку з азимутом і кількістю кроків (або координат). Лише правильно визначивши напрямок, вони знаходять наступну підказку.

4. Універсальні методи для рефлексії та перевірки знань

Бліц-метод «За та проти» (Оцінка безпекових ризиків). *Суть:* Клас ділиться на дві лінії. Вчитель кидає тезу (наприклад: «*Під час обстрілу найкраще сховатися в підземному переході*» або «*Використання цивільного смартфона на передовій є допустимим для зв'язку з рідними*»). Одна лінія має миттєво навести аргумент «За», інша – спростувати аргументом «Проти».

Прес-конференція «Військовий експерт». *Суть:* Наприкінці заняття один або двоє учнів стають у роль «експертів» з вивченої теми (наприклад, інженерного захисту). Решта класу виступає в ролі «журналістів», які ставлять каверзні та практичні запитання. Експерти мають чітко та аргументовано відповісти.

План-сценарій практичного заняття.

Тема: Алгоритм MARCH. Надання до медичної допомоги в зоні тактичної безпеки (Tactical Field Care). Цільова група: Учні 10 або 11 класу (змішана група осередку).

Тривалість: 90 хвилин (спарене заняття/блок). Мета: *Навчальна:* Відпрацювати до автоматизму алгоритм MARCH; навчити швидко виявляти критичні кровотечі та правильно накладати турнікет собі й товаришу.

Розвивальна: Розвинути швидкість реакції, стресостійкість, навички командної взаємодії та комунікації в кризових умовах.

Виховна: Сформувати почуття відповідальності за життя товариша та впевненість у власних силах.

Матеріально-технічне забезпечення:

Тренувальні джгути/турнікети (типу CAT Gen 7 або вітчизняні аналоги) – мінімум 1 шт. на двох учнів.

Маркери перманентні (для фіксації часу накладання).

Набір карток-«поранень» для методу «Живий симулятор».

Секундомір/таймер (на екрані або у вчителя).

Аудіосистема (за бажанням, для увімкнення фонового звуку бою/шуму для створення стресового середовища).

Хід заняття

Етап 1. Вступна частина та Інструктаж (15 хв)

1. Організаційний момент (3 хв): Привітання, шикування, перевірка готовності групи.

2. Актуалізація знань (5 хв): Бліц-опитування. Вчитель нагадує, що таке MARCH (акронім):

Massive Bleeding (Масивна кровотеча) — *головна причина смертей, яку можна попередити.*

Airway (Дихальні шляхи).

Respiration (Дихання/поранення грудної клітки).

Circulation (Циркуляція/шок).

Hypothermia/Head (Гіпотермія/черепно-мозкова травма).

3. Демонстрація (7 хв): Вчитель коротко показує правильну техніку накладання турнікета на верхню та нижню кінцівки (правило «максимально високо і туго» для зони тактичної безпеки). Наголошує на обов'язковій фіксації часу.

Етап 2. Практичний блок №1: Метод «Живий симулятор» (25 хв)

Мета: Навчитися миттєво оцінювати стан пораненого та визначати пріоритет дії.

Хід вправи:

1. Учні об'єднуються в пари. Один стає «Рятувальником», інший — «Пораненим».

2. «Поранені» заплющують очі. Вчитель роздає їм картки із ситуаціями та кріпить на одяг (або учні просто тримають їх так, щоб партнер побачив не одразу).

Приклад картки 1: «Калюжа крові під лівим рукавом, учень тримається за руку, кричить від болю».

Приклад картки 2: «Учень лежить нерухомо, видимих кровотеч немає, хрипить».

Приклад картки 3: «Учень притомний, тримається за коліно, легка подряпина, крові майже немає».

3. За командою «Бій!» Рятувальник підбігає до Пораненого, той розплющує очі й грає свою роль (кричить або мовчить).

4. Завдання Рятувальника: За 5–7 секунд візуально оцінити ситуацію, викрикнути першу дію за алгоритмом MARCH (наприклад: «*Критична кровотеча! Накладаю турнікет на ліве плече!*») та почати імітацію дії. Якщо кровотечі немає – переходити до перевірки дихання (**A**).

5. Вчитель або інструктор контролює правильність вибору пріоритету. Через 10 хвилин учні міняються ролями.

Етап 3. Практичний блок №2: Метод «Коло порятунку» (40 хв)

Мета: Доведення технічної навички накладання турнікета до автоматизму під тиском часу та в команді.

Хід вправи:

1. Клас ділиться на трійки. Ролі в трійці: Рятувальник, Поранений, Контролер (Інструктор).

2. Кожна трійка отримує 1 тренувальний турнікет та маркер.

3. Раунд 1: Самодопомога (10 хв). Рятувальник за сигналом таймера має накласти турнікет *собі* на ліву руку однією рукою. Контролер засікає час. Ціль – вкластися у 30 секунд. Контролер перевіряє правильність (джгут затягнутий, паличка-вороток закручена, час записаний).

4. Раунд 2: Допомога товаришу (15 хв). Рятувальник накладає турнікет на стегно Пораненого. Поранений імітує слабкість (не допомагає). Контролер стежить, щоб турнікет накладався на 5-7 см вище рани (або максимально високо в умовах осередку) і перевіряє відсутність пульсу на кінцівці нижче турнікета (елемент перевірки ефективності). Ціль **— 45 секунд**.

5. Раунд 3: Ускладнення «Сліпий рятувальник» (15 хв). Щоб ускладнити завдання та активізувати тактильну пам'ять, Рятувальнику зав'язують очі (або він просто їх заплющує). Поранений голосом підказує, де саме «поранена» нога чи рука. Рятувальник наосліп має дістати свій турнікет і накласти його товаришу. Контролер страхує від помилок.

Кожні 10–12 хвилин усередині трійки відбувається зміна ролей за годинниковою стрілкою, щоб кожен побував у всіх трьох ролях.

Етап 4. Рефлексія та підсумки: Метод «Військовий експерт» (10 хв)

1. Учні збираються у коло.

2. Вчитель призначає двох учнів, які показали найкращий час і техніку, «Військовими експертами».

3. Інші учні («журналісти») ставлять їм практичні запитання за підсумками уроку. Наприклад:

«Що робити, якщо після першого турнікета кров не зупинилася?» (Відповідь експерта: Накладати другий турнікет вище першого).

«Чи можна накладати турнікет на шию або суглоб?» (Відповідь експерта: Ні, на суглоби не накладають, шукають вище; на шию використовують інші методи тиску через підняту руку).

4. Вчитель виставляє бали за чеклістами Контролерів, відзначає прогрес групи та завершує заняття. Оскільки в тактичній медицині (протокол TCCC) евакуація відбувається на етапі Tactical Field Care (допомога в зоні тактичної безпеки) або під час переходу до TACEVAC (етап евакуації), ми додаємо нові вправи, що вчать правильно переміщувати постраждалого, не погіршуючи його стан.

План-сценарій практичного заняття (з елементами евакуації). Тема: Алгоритм MARCH. Надання домедичної допомоги та евакуація пораненого в зоні

тактичної безпеки. Тривалість: 90 хвилин (спарене заняття/блок). Додаткова мета: Навчити учнів базових способів переміщення пораненого однією та двома особами за допомогою підручних та спеціальних засобів (ноші, евакуаційні стропи), розподіляти ролі в команді під час евакуації.

Додаткове матеріально-технічне забезпечення:

М'які (безкаркасні) тактичні ноші – 2–4 шт. (за наявності в осередку).

Евакуаційні стропи або міцні ремені/мотузки (як альтернатива).

Килимки (каремати) для захисту учнів під час перетягування по підлозі.

Хід заняття (Оновлена структура)

Етап 1. Вступна частина та Інструктаж (15 хв)

Без змін (див. попередній сценарій). Додатково вчитель наголошує на правилі безпеки: «Перед евакуацією критична кровотеча має бути зупинена (етап М)! Несвоєчасний рух пораненого з відкритою артеріальною кровотечею призведе до його смерті за кілька хвилин». Також демонструються 3 базові способи переміщення: «на собі», «удвох» та «на без каркасних ношах».

Етап 2. Блок «Живий симулятор» + Перша допомога (20 хв)

Скорочено на 5 хвилин для балансу часу.

Завдання: Пари відпрацьовують швидку діагностику за алгоритмом MARCH та накладання турнікета товаришу (допомога на місці отримання поранення) за 45 секунд. Коли турнікет накладено, учень вигукує: «Кровотечу зупинена, готовий до евакуації!»

Етап 3. НОВИЙ БЛОК: Практика евакуації та транспортування (45 хв)

Мета: Відпрацювати фізичне переміщення «пораненого» з точки А (небезпечна зона) в точку Б (умовне укриття).

Класичний поділ на трійки трансформується у четвірки: 1 «Поранений» + 2 «Рятівники» + 1 «Контролер/Прикриття».

Вправа 1: Евакуація вдвох «Під руки / Метод замка» (15 хв)

Сценарій: Поранений притомний, але не може самостійно йти (поранена нога, на яку вже накладено турнікет).

Дія: Два Рятівники підбігають, піднімають пораненого, утворюючи «замок» із рук під його стегнами, або підхоплюють під пахви. Вони мають швидко перемістити його на відстань 15–20 метрів.

Завдання Контролера: Стежити, щоб поранена кінцівка не волочилася по землі, а Рятівники рухалися синхронно. Потім учні міняються ролями.

Вправа 2: Евакуація за допомогою без каркасних нош (20 хв)

Сценарій: Поранений непритомний (імітує повне розслаблення тіла, «важкий вантаж»). Його потрібно перемістити в укриття.

Дія: Четвірка об'єднується. Троє учнів мають правильно перевернути пораненого на бік (за правилами логістики тіла, притримуючи шию та хребет), підкласти під нього складені м'які ноші, повернути назад і розправити ноші. *Транспортування:* За командою старшого групи («На рахунок три – підйом!») три рятівники беруться за ручки нош (двоє біля голови/плечей, один у ногах) і переносять пораненого в зону укриття.

Важливо: Контролер засікає час і перевіряє, чи не випав «поранений» під час руху, та чи не змістився раніше накладений турнікет.

Вправа 3: Стрес-тест «Евакуація під вогнем» (10 хв)

Сценарій: Вмикається аудіо супроводу бою. Команда з 4 осіб отримує повне комплексне завдання.

Алгоритм дій для команди:

Підбігти до «пораненого».

Рятувальник №1 накладає турнікет на «поранену» кінцівку.

Рятувальник №2 забезпечує умовне вогневе прикриття (контролює сектор).

Разом перекладають пораненого на ноші.

Евакуюють в укриття.

Норматив: Вся операція має зайняти не більше 2,5-3 хвилин.

Етап 4. Рефлексія та підсумки (10 хв)

Обговорення помилок під час транспортування. Вчитель ставить акцент на таких питаннях:

«Чому не можна бігти з ношами в повний зріст, якщо немає повного укриття?» (Рухатися треба максимально низько, пригнувшись).

«Хто в команді командує початком руху під час підйому нош?» (Той, хто стоїть біля голови пораненого, адже він бачить увесь процес і контролює стан дихальних шляхів).

Список використаних джерел

1. Вербівський Д.С. Інноваційні технології: теоретичний аспект : навч.-метод. посіб. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2025. 221 с.

2. Навчальна програма з предмета «Захист України» для 10–11 класів закладів загальної середньої освіти. Київ : МОН України, 2023.

3. Державний стандарт базової середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 30.09.2020 № 898. 6. Кремень В. Г. Освіта і національна безпека України. Київ : Грамота, 2022.

4. Про затвердження порядку надання домедичної допомоги : наказ МОЗ України від 09.03.2022 № 441.

5. Савченко О. Я. Компетентнісний підхід у сучасній українській школі. Київ : Педагогічна думка, 2018.

6. Ляшенко О. І. Практико-орієнтоване навчання як умова формування життєвих компетентностей. Педагогіка і психологія. 2020.

7. Морзе Н. В. Цифрові технології в освіті. Київ : Освіта, 2021.

8. Пометун О. І. Міждисциплінарний підхід у шкільній освіті. Київ : Генеза, 2019.

9. Модульна навчальна програма з предмета «Захист України» для 10–11 класів. Київ : МОН України, 2023.

10. Освіта в умовах воєнного стану : методичні рекомендації / МОН України. Київ, 2022.

11. Професійний стандарт учителя закладу загальної середньої освіти : наказ МОН України від 29.08.2024 № 1223.

12. Tactical Combat Casualty Care (TCCC) Guidelines. Committee on TCCC, 2021.
13. Butler F. K. Tactical Combat Casualty Care: Lessons Learned. Journal of Trauma and Acute Care Surgery. 2019.
14. https://mon.gov.ua/news/z-2-veresnia-uchni-1011-klasiv-vyvchatymut-predmet-zakhyst-ukrainy-u-spetsialno-stvorenykh-oseredkakh
15. https://nus.org.ua/2026/06/08/dva-roky-onovlenomu-kursu-zahyst-ukrayiny-shho-zminylosya-dlya-uchniv-ta-pedagogiv/
16. https://nus.org.ua/2026/01/14/anna-kovalenko-dlya-nas-bulo-vazhlyvo-shhob-u-posibnyku-zahyst-ukrayiny-buly-ne-tilky-praktychni-navychky-vyzhyvannya-a-j-pidijmalysya-vazhlyvi-pytannya-pro-istoriyu-ukrayinske-vijsko-ta-gromadskyj-se/
17. https://nus.org.ua/2026/01/09/mon-zatverdylo-novi-posibnyky-z-predmeta-zahyst-ukrayiny-dlya-10-11-klasiv/
18. https://naurok.com.ua/post/zahist-ukra-ni-transformaciya-pidhodiv-do-navchannya-ta-vikladannya

3.5. Psychological Readiness of a Teacher for Partnership Interaction with Parents of Children with Special Educational Needs

ПСИХОЛОГІЧНА ГОТОВНІСТЬ ПЕДАГОГА ДО ПАРТНЕРСЬКОЇ ВЗАЄМОДІЇ З БАТЬКАМИ ДІТЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ

Вступ

Сучасний вектор розвитку системи освіти в Україні спрямований на розбудову якісного, гуманного та безбар'єрного освітнього середовища, здатного забезпечити рівний доступ до навчання кожній дитині. Актуальність дослідження психологічної готовності педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з особливими освітніми потребами (ООП) зумовлена глибокими трансформаціями освітньої парадигми – від медичної моделі ізоляції до соціальної моделі інклюзії, гуманізації та активного залучення. Повноцінна інтеграція дитини в освітній простір неможлива без узгодженого, паритетного діалогу між освітньою установою та родиною. Упродовж останніх років в Україні сформовано потужну нормативно-правову базу, яка законодавчо закріплює рівні права дітей з ООП на здобуття освіти та визначає співпрацю з родинами як обов'язковий елемент освітнього процесу (Закони України «Про освіту», «Про дошкільну освіту», «Про вищу освіту», Концепція розвитку інклюзивної освіти, Національна стратегія із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року, Постанова КМУ № 765). Законодавче закріплення права батьків бути повноправними суб'єктами освітньої діяльності кардинально змінює статус родини: з пасивного отримувача послуг вона перетворюється на активного учасника команди супроводу.

Попри наявні нормативні здобутки, реалізація інклюзивного навчання на практиці наражається на численні психологічні, етичні та комунікативні бар'єри. Батьки дітей з ООП нерідко перебувають у стані тривалого психоемоційного напруження, виснаження або захисного заперечення, переживаючи складні фази

прийняття діагнозу дитини. З іншого боку, педагоги часто стикаються з браком інклюзивної компетентності, особистісною тривожністю, відсутністю навичок ефективної конфліктологічної взаємодії та емоційною неприйнятністю нетиповості. В умовах сучасних викликів, тривалого воєнного стану та повоєнної відбудови психоемоційне навантаження на всіх учасників освітнього процесу збільшується. Посилення чинників стресу, травматизації та загальної соціально-психологічної нестабільності вимагає від педагога глибокої рольової трансформації: від традиційного «транслятора знань» і контролера до консультанта, модератора безпечного середовища та емоційного партнера родини.

Окремим напрямом актуальності виступає необхідність подолання упереджень, міфів і деструктивних стереотипів щодо суб'єктів інклюзивного процесу, які все ще побутують у суспільній свідомості та педагогічному середовищі. Створення рівноправного партнерства між закладом освіти та сім'єю є важливим чинником успішної адаптації, соціалізації, корекційно-розвивальної роботи та особистісного зростання дитини з особливими потребами. Ефективне поєднання зусиль педагогів і батьків дозволяє сформувати єдину виховну стратегію та забезпечити наступність у розвитку дитини. Без належної психологічної готовності педагога до конструктивного діалогу, виявлення щирої емпатії, суб'єкт-суб'єктної взаємодії та спільного прийняття рішень інклюзія ризикує залишитися лише формальною процедурою чи бюрократичним звітом.

Фундаментальним складником дослідження є потреба в розробці практико-орієнтованих підходів до формування інклюзивної компетентності та психологічної готовності як майбутніх педагогів у закладах вищої освіти, так і діючих фахівців у системі післядипломної педагогічної освіти. Це вимагає глибокого теоретичного осмислення структури готовності (мотиваційного, когнітивного, емоційно-вольового та діяльнісного компонентів), вивчення внутрішніх і зовнішніх чинників її становлення, а також пошуку дієвих шляхів подолання бар'єрів взаємодії в команді психолого-педагогічного супроводу. Систематизація психологічних механізмів формування такої готовності виступає важливою умовою забезпечення якості сучасної інклюзивної освіти та збереження ментального здоров'я всіх учасників освітнього процесу.

Отже, трансформація освітньої парадигми в Україні від медичної моделі ізоляції до соціальної моделі інклюзії та гуманізації визначила нову роль родини дитини з особливими освітніми потребами (ООП). Практичне впровадження інклюзивного навчання ускладнюється наявністю психологічних, етичних та комунікативних бар'єрів між учасниками освітньої взаємодії. Психоемоційне напруження й етапи прийняття діагнозу з боку батьків, у поєднанні з недостатньою інклюзивною компетентністю, тривожністю та стереотипами з боку педагогів, створюють ризики формалізації інклюзивного процесу. У сучасних умовах тривалого воєнного стану та повоєнної відбудови ці чинники вимагають від освітянина рольової трансформації – переходу від функції контролера до ролей фасилітатора, консультанта та емоційного партнера сім'ї.

Розділ 1. Теоретико-методологічні засади формування психологічної готовності педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з ООП

1.1. Сутність, структура та компоненти психологічної готовності педагога до інклюзивної взаємодії

У сучасному психолого-педагогічному дискурсі феномен психологічної готовності педагога розглядається як цілісне, багатовимірне та інтегративне утворення особистості, що відображає її професійно-ціннісну спрямованість, мотиваційну готовність, системні знання та внутрішню психологічну здатність ефективно здійснювати професійну діяльність у складних, видозмінених чи нестандартних освітніх умовах. Вона є не просто сумою окремих знань чи практичних умінь, а внутрішньою психічною передумовою, що визначає вибір стратегій поведінки, стиль спілкування та готовність до подолання стресогенних чинників у процесі педагогічної праці.

Як зазначає З. Савчук (2022), психологічна готовність до роботи в інклюзивному просторі виступає фундаментальним ресурсом фахівця, який визначає його здатність сприймати відмінності дітей та їхніх батьків не як перешкоду чи проблему, а як природну різноманітність людського суспільства. Сформованість цієї готовності дозволяє педагогу відмовитися від деструктивних оціночних суджень і будувати освітній процес на засадах рівності, підтримки та поваги до унікальності кожної особистості. У працях А. Педорич (2018) підкреслюється, що готовність педагогів до інклюзивної освіти передбачає не лише наявність теоретичних знань і методичного інструментарію, а й глибоку особистісну трансформацію, подолання внутрішніх психічних бар'єрів, деконструкцію застарілих стереотипів та сформованість розвиненої емоційно-вольової саморегуляції.

Психологічна готовність до партнерства з родинами виявляється у здатності педагога виходити за межі суто формальних функцій і ставати рівноправним суб'єктом суб'єкт-суб'єктної взаємодії. Це передбачає подолання професійного центризму, коли педагог вважає себе єдиним носієм істини щодо виховання дитини, та перехід до позиції конструктивного співробітництва з батьками, які володіють унікальним знанням про індивідуальні особливості своєї дитини.

Структурно психологічна готовність педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з ООП є складною динамічною системою, яка охоплює чотири взаємопов'язані та взаємозумовлені компоненти:

1. Мотиваційно-ціннісний компонент – є основою готовності та виражається у свідомому прийнятті ідей і філософії інклюзії, гуманістичній спрямованості особистості педагога, стійкій мотивації до професійного самовдосконалення, а також у прагненні до співпраці з батьками на засадах рівноправності, відкритості та взаємоповаги. Він відображає внутрішню потребу фахівця створювати сприятливе освітнє середовище для дітей з ООП та підтримувати їхні родини.

2. Когнітивний компонент – містить систему фундаментальних і спеціальних знань про вікові, анатомо-фізіологічні та психофізичні особливості дітей з різними порушеннями розвитку, нормативно-правову базу інклюзивної освіти,

психологічні закономірності функціонування та еволюції родин, що виховують дітей із порушеннями, а також основи теорії комунікації, фасилітації та конфліктології (О. Коханова, 2011; М. Порошенко, 2019). Цей компонент забезпечує професійну компетентність педагога у виборі форм і методів взаємодії з батьками.

3. Емоційно-вольовий компонент – передбачає високий рівень розвитку емпатії, емоційну стійкість, психологічну резильєнтність, толерантність до невизначеності та відмінностей, суб'єктивний контроль, здатність самостійно регулювати власні стресові стани, конструктивно реагувати на емоційні сплески батьків та запобігати симптомам професійного та емоційного вигорання. Володіння цим компонентом дозволяє педагогу зберігати ресурсність у складних ситуаціях.

4. Діяльнісно-поведінковий компонент – відображає володіння практичними вміннями, навичками та інструментарієм партнерської взаємодії, здатність застосовувати діалогові, інтерактивні, арт-терапевтичні та фасилітативні технології спілкування з батьками, здійснювати спільне планування освітнього маршруту дитини в межах Команди супроводу та ефективно розв'язувати суперечливі ситуації (Г. Косарєва, 2014; О. Варецька, О. Хаустова, 2023).

Усі виокремлені компоненти перебувають у стані діалектичної єдності: прогалини в когнітивній сфері можуть викликати зростання тривожності (емоційно-вольовий компонент), а несформованість мотивації блокує застосування практичних комунікативних навичок у діяльнісній сфері.

Згідно з дослідженнями О. Гаяш (2015), М. Чайковського (2011), інклюзивний освітній простір функціонує як складний педагогічний феномен, де психологічна готовність педагога є каталізатором утворення безбар'єрного, довірливого та безпечного середовища між закладом освіти та родиною. Сформована психологічна готовність дозволяє педагогу діяти як фасилітатор, який мінімізує бар'єри взаємодії, підвищує батьківську компетентність і створює оптимальні умови для всебічного розвитку та соціалізації дитини з ООП.

Отже, психологічна готовність педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з особливими освітніми потребами визначена як цілісне, інтегративне утворення особистості, що поєднує професійно-ціннісну спрямованість, глибинну особистісну трансформацію та внутрішню здатність до ефективного співробітництва в умовах інклюзивного освітнього середовища.

Структура досліджуваної готовності є системним поєднанням чотирьох базових компонентів: мотиваційно-ціннісного (прийняття ідеології інклюзії та орієнтація на рівноправність), когнітивного (знання психофізичних особливостей дітей, специфіки родин та основ конфліктології), емоційно-вольового (емпатія, саморегуляція, емоційна стійкість) та діяльнісно-поведінкового (володіння фасилітативними й діалоговими технологіями спілкування).

Високий рівень психологічної готовності педагога виступає важливою передумовою подолання психологічних бар'єрів між закладом освіти та родиною,

трансформуючи батьків із пасивних спостерігачів у свідомих та активних партнерів освітнього та корекційно-розвивального процесу.

1.2. Нормативно-правовий та концептуальний контекст розвитку партнерства «педагог – родина» в інклюзивному середовищі

Побудова рівноправного партнерства між педагогами та батьками дітей з ООП в Україні спирається на ґрунтовну законодавчу та нормативну базу, що еволюціонувала відповідно до провідних міжнародних стандартів та орієнтирів (UNESCO, 2020; Slee, 2018; Haug, 2017). Світовий досвід реформування освітніх систем засвідчує, що перехід від сегрегативної чи суто медичної моделі до інклюзивної парадигми вимагає не лише трансформації інфраструктури, а й кардинальної зміни нормативного статусу родини: сім'я перестає бути об'єктом стороннього педагогічного впливу та стає рівноправним суб'єктом суб'єкт-суб'єктної освітньої взаємодії.

Базові засади інклюзії, гуманізації та гарантії прав осіб з особливими освітніми потребами закладено в засадничих законодавчих актах України. Зокрема, Закон України «Про освіту» (2017) унормував поняття «особа з особливими освітніми потребами», «інклюзивне освітнє середовище» та «розумне пристосування», закріпивши обов'язок закладів освіти створювати безобмежний простір для кожного здобувача. Закон України «Про дошкільну освіту» (2001, редакція 2024) та Закон України «Про вищу освіту» (2014, редакція 2026) розширили ці принципи на всі рівні безперервної освіти, забезпечуючи наступність інклюзивного супроводу. Ці документи чітко закріплюють за батьками право бути повноправними учасниками освітнього процесу, обирати форму здобуття освіти для своєї дитини, брати безпосередню участь у розробленні та реалізації індивідуальної програми розвитку (ІПР), а також захищати її законні інтереси на всіх етапах навчання.

Важливим вектором концептуального реформування стала Концепція розвитку інклюзивної освіти (Наказ МОН № 912 від 01.10.2010), яка визначила необхідність фундаментальної зміни суспільної свідомості щодо дітей з ООП, подолання стигматизації та створення належних умов для їхньої повноцінної соціальної та освітньої інтеграції. Нормативно-організаційне забезпечення співпраці було суттєво посилено з прийняттям Постанови Кабінету Міністрів України № 765 від 21 липня 2021 року «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо організації навчання осіб з особливими освітніми потребами». Цей документ регламентував діяльність Команд психолого-педагогічного супроводу в закладах освіти, обов'язковими та повноправними членами яких законодавчо визначено батьків дитини з ООП. Це закріплює юридичну та морально-етичну відповідальність обох сторін – закладу освіти та сім'ї – за ефективність освітньо-реабілітаційного маршруту.

У Національній стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року (Розпорядження КМУ № 366-р від 14 квітня 2021 р.) освітня безбар'єрність трактується як створення рівних можливостей та безперешкодного доступу до освіти для всіх здобувачів, а також як забезпечення належної

психолого-педагогічної, інформаційної та консультативної підтримки родин. Документ акцентує увагу на подоланні суспільних, упереджених і комунікативних бар'єрів, визнаючи партнерство «заклад освіти – родина» вагомим індикатором якості безбар'єрного середовища.

Сучасні воєнні виклики та процеси повоєнного відновлення суттєво актуалізують нормативно-правове регулювання інклюзивного простору. У працях А. Колупаєвої, О. Таранченко (2023) наголошується, що в умовах воєнного стану та повоєнної відбудови нормативні вимоги до психологічної готовності педагога суттєво розширюються й ускладнюються: виникає нагальна потреба у володінні навичками кризової комунікації, наданні першої психологічної допомоги, застосуванні травмоінформованих підходів у навчанні та обов'язковому врахуванні травматичного досвіду, якого зазнали як діти, так і їхні батьки (вимушене переміщення, втрата житла, переживання горя чи стресу). Нормативна база сьогодення вимагає від педагога не лише формального виконання інструкцій, а й здатності діяти як емоційно стабільний фасилітатор у складі Команди супроводу, забезпечуючи психологічну безпеку родин у кризових обставинах.

Таким чином, нормативно-правова база України (Закони України «Про освіту», «Про дошкільну освіту», «Про вищу освіту», Постанова КМУ № 765 тощо) заклала міцне підґрунтя для переходу від формального залучення батьків дітей з ООП до побудови повноцінного суб'єкт-суб'єктного партнерства в інклюзивному освітньому середовищі. Законодавче закріплення батьків як обов'язкових членів Команди психолого-педагогічного супроводу та спільна розробка Індивідуальної програми розвитку (ІПР) юридично закріплюють за ними статус рівноправних партнерів і співвиконавців освітньо-розвивального маршруту дитини. Національна стратегія з безбар'єрності та сучасні воєнні реалії (А. Колупаєва, О. Таранченко, 2023) вимагають розширення нормативних і професійних вимог до психологічної готовності педагога, доповнюючи її навичками кризової комунікації, надання першої психологічної допомоги та реалізації травмоінформованої педагогіки у співпраці з родинами.

1.3. Бар'єри та деструктивні чинники партнерської взаємодії та шляхи їх подолання

Попри позитивні зміни в законодавстві, розширення нормативно-правової бази та декларацію ідей інклюзії, на практиці процес налагодження партнерських взаємин між педагогами та батьками дітей з ООП часто супроводжується глибокими труднощами, внутрішніми конфліктами та бар'єрами різного походження. Взаємодія двох головних інституцій – закладу освіти та сім'ї – розгортається в умовах високої психоемоційної напруги, де неузгодженість очікувань, різниця в оцінці можливостей дитини та брак комунікативних навичок створюють деструктивне тло для освітнього процесу.

У праці О. Фенцик (2025) систематизовано та глибоко проаналізовано основні бар'єри партнерської взаємодії, які розмежовуються за суб'єктами

освітнього процесу та характером їхнього вияву, а також визначено конструктивні шляхи їх подолання.

О. Фенцик виокремлює наступні психологічні бар'єри педагогів:

– стереотипи та упередження щодо потенціалу розвитку та можливостей соціалізації дітей з ООП, що проявляється в прихованій дискримінації або низьких очікуваннях від освітнього результату;

– страх не впоратися з викликами інклюзивного навчання, професійна невпевненість, побоювання негативної оцінки з боку адміністрації, колег чи батьків інших здобувачів освіти;

– високий рівень тривожності та психологічний опір нововведенням, що викликані необхідністю змінювати звичні методики викладання, підходи до оцінювання та розробляти індивідуалізовані матеріали;

– відсутність досвіду та навичок ефективного реагування на «важкі» батьківські реакції (захисна агресія, звинувачення, вимога особливого ставлення), що призводить до вибору деструктивних захисних стратегій – уникнення контактів або авторитарного тиску;

– стигматизація та суб'єктивне сприйняття батьків як «складних» або «неконтактних», що блокує емпатію та суб'єкт-суб'єктний діалог.

Також дослідниця виділяє психологічні бар'єри батьків:

– стадії переживання психологічної травми та прийняття діагнозу дитини (заперечення, гнів, торг, депресія, прийняття). Перебуваючи на етапах заперечення чи гніву, батьки часто сприймають будь-які зауваження педагогів щодо особливостей поведінки чи навчання дитини як особисту образу чи непрофесіоналізм;

– високий рівень сенситивності, емоційного виснаження та захисної агресії, що є наслідком тривалого перебування в стані хронічного стресу та соціальної ізольованості;

– зневіра в можливостях освітньої системи, зумовлена попереднім негативним досвідом взаємодії з медичними чи освітніми установами, побоювання стигматизації дитини у дитячому колективі;

– полярні установки щодо дитини: від гіперопіки та інфантилізації до надмірних вимог і тривожного очікування негативного ставлення з боку педагогів та батьків нормотипових однолітків.

Комунікативні та інформаційні бар'єри:

– дефіцит конструктивного діалогу та паритетності: збереження застарілої «учитель-центричної» моделі, де педагог виступає в ролі єдиного контролера та експерта, висуваючи вимоги до батьків у формативному чи повчальному тоні;

– вживання складної професійної термінології чи діагностичних формулювань під час пояснення стану дитини, що лякає батьків і створює дистанцію;

– дефіцит часу та відсутність спеціально облаштованого психологічного простору для проведення повноцінних, довірчих консультацій, опрацювання зворотного зв'язку та роботи Команди супроводу;

– викривлення інформаційного обміну: відсутність прозорості у висвітленні успіхів і труднощів дитини, акцентування уваги лише на негативних проявах поведінки замість обговорення динаміки її розвитку.

Дослідження психологічних особливостей партнерської взаємодії в умовах інклюзивної освіти (2021) свідчать, що подолання цих системних бар'єрів можливе лише за умови послідовного переходу від епізодичних, формальних контактів до цілісної, підтримувальної системи партнерства, що базується на емпатії, взаємодовірі, рефлексії та фаховому психолого-педагогічному супроводі.

У працях А. Колупаєвої, Л. Савчук (2010), а також Г. Кравченко, Г. Сіліної (2014) підкреслюється фундаментальне значення створення корекційно-розвивального, травмоінформованого та безпечного освітнього середовища вже на етапі дошкільної освіти. Раннє виявлення освітніх потреб дитини та своєчасне залучення родини до партнерства дозволяють сформувати сприятливий психологічний клімат, мінімізувати конфліктний потенціал у взаєминах і розробити ефективну індивідуальну траєкторію розвитку дитини на засадах наступності між закладом дошкільної освіти і школою.

Окрему увагу в сучасній науці приділено аналізу бар'єрів в умовах затяжних надзвичайних ситуацій та воєнного стану. У дослідженнях А. Колупаєвої, О. Таранченко (2023) наголошується, що вимушене переміщення, хронічний стрес, загроза безпеці та психологічна травматизація виступають значними деструктивними чинниками, які підсилюють взаємну недовіру та виснажують внутрішній ресурс як педагогів, так і батьків. Подолання таких чинників вимагає впровадження спеціальних психологічних технологій:

Впровадження ненасильницького та емпатійного спілкування (за М. Розенбергом), що передбачає фокусування на потребах і почуттях, а не на оцінках і звинуваченнях. Розвиток резильєнтності та емоційної саморегуляції педагогів і батьків через організацію тренінгів, супервізій та сесій інтервізії (О. Варецька, О. Хаустова, 2023).

Організація спільних заходів (батьківських клубів, арт-терапевтичних зустрічей, сімейних майстерень), що сприяють зниженню тривожності, дестигматизації дітей з ООП та створенню єдиної спільноти підтримки (О. Гаяш, 2015).

Отже, налагодження партнерської взаємодії між педагогами та батьками дітей з ООП гальмується наявністю комплексу психологічних, комунікативних та інформаційних бар'єрів, викликаних упередженнями педагогів, перебуванням батьків на стадіях прийняття травми, а також відсутністю навичок безконфліктного спілкування. Основним деструктивним чинником у взаєминах є збереження авторитарної, експертної позиції педагога та сприйняття батьків як об'єкта впливу, що породжує захисну агресію, тривожність та деструктивні конфлікти з обох сторін.

Ефективними шляхами подолання бар'єрів партнерства визнано: перехід до емпатійного та травмоінформованого спілкування, створення корекційно-розвивального безпечного середовища на рівні дошкільної освіти, регулярну

психологічну підтримку педагогів (використовуючи супервізію та профілактику професійного вигорання) і залучення батьків до діяльності Команди супроводу на рівноправних, суб'єкт-суб'єктних засадах.

Розділ 2. Практичні аспекти та технології розвитку психологічної готовності педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з ООП

2.1. Зміст та методика формування інклюзивної компетентності педагогів

Формування психологічної готовності педагога до інклюзивної взаємодії та партнерства з родинами є складним, багатовекторним і безперервним процесом, який охоплює етап фундаментальної професійної підготовки у вищій школі та період подальшої практичної діяльності й безперервного професійного розвитку у закладах освіти. Оскільки інклюзивне середовище постійно трансформується під впливом соціальних і безпекових викликів, зміст і методика формування інклюзивної компетентності вимагають постійного оновлення.

За концепцією Г. Косарєвої (2014), формування інклюзивної компетентності майбутніх вихователів закладів дошкільної освіти та вчителів початкової школи у закладах вищої освіти має базуватися на інтегрованому підході. Це передбачає впровадження спеціалізованих навчальних дисциплін, залучення студентів до інтенсивних тренінгових програм, моделювання вирішення практичних ситуацій та аналіз педагогічних конфліктів. Обов'язковим елементом підготовки є проходження психолого-педагогічної практики на базі інклюзивних груп та класів, де здобувачі вищої освіти спостерігають за роботою Команди супроводу.

У системі післядипломної педагогічної освіти напрям підготовки зміщується у бік андрагогічних та інтерактивних технологій, оскільки працюючі педагоги потребують оперативного інструментарію. О. Варецька та О. Хаустова (2023) зазначають, що розвиток готовності вчителів і вихователів до роботи в інклюзивному середовищі має базуватися на практико-орієнтованих, інтерактивних та рефлексивних формах навчання.

До найбільш ефективних методів належать психологічні тренінги партнерського спілкування, які спрямовані на розвиток глибинної емпатії, навичок активного слухання, ненасильницького спілкування та саморефлексії. Також застосовується опрацювання технік Я-повідомлень та формування вміння давати конструктивний зворотний зв'язок з акцентом на позитивних досягненнях дитини.

Важливе значення мають супервізійні та інтервізійні сесії, що дозволяють педагогам у безпечному колі обговорювати складні випадки з власної практики, опрацьовувати контрпереносні емоційні реакції та колективно шукати рішення. Інтервізія як форма колегіального обговорення сприяє подоланню професійної ізоляції педагога.

Доцільно широко використовувати рольові ігри, симуляційні вправи та психогімнастика для моделювання переговорів із батьками, які перебувають у складних психоемоційних станах. Це дозволяє відпрацювати ефективні скрипти

поведінки та реалізувати програвання ролей самих батьків для кращого розуміння їхнього стану.

Окрім цього, важливо застосовувати метод аналізу конкретних ситуацій та майстерні вирішення конфліктів, що включають детальний розбір реальних випадків взаємодії з родинами та проектування альтернативних моделей діалогу. Зміст підготовки також варто доповнювати модулями з профілактики професійного вигорання для збереження ресурсності фахівців.

Таким чином, формування інклюзивної компетентності педагога є неперервним процесом, який розпочинається на етапі здобуття професійної освіти у вищій школі та триває упродовж усієї практичної діяльності. Методика підготовки педагогів до партнерства з родинами вимагає відходу від традиційних трансляційних форм навчання на користь інтерактивних, рефлексивних та симуляційних технологій. Систематичне використання супервізійного супроводу та тренінгових програм дозволяє сформувати у педагогів дієві комунікативні відповіді й забезпечує опрацювання їхніх власних емоційних бар'єрів.

2.2. Психологічні технології та алгоритм побудови партнерської взаємодії з родинами дітей з ООП

У практичній діяльності педагога партнерська взаємодія з батьками реалізується через чітко структурований алгоритм послідовних кроків, кожен з яких вимагає застосування специфічних психологічних технологій, гнучких комунікативних стратегій та високої професійної етики (О. Коханова, 2011; М. Порошенко, 2019).

Алгоритм побудови партнерської взаємодії є процесуальним і динамічним, що забезпечує поетапну адаптацію родини та закладу освіти до спільних освітньо-розвивальних цілей (див. табл. 1).

Таблиця 1

Алгоритм побудови партнерської взаємодії закладу освіти з родинами

Етап	Головна мета	Результат
Первинний контакт	Встановлення довіри, зняття напруги	Відкритий діалог і психологічний комфорт
Спільна діагностика	Обговорення потреб і сильних сторін дитини	Єдине бачення цілей педагогами та батьками
Реалізація ІПР	Робота Команди супроводу, розподіл обов'язків	Дієвий практичний план розвитку дитини
Рефлексія та зв'язок	Моніторинг результатів і корекція дій	Адаптація алгоритму до динамічних потреб

Перший етап охоплює первинний контакт та встановлення довірливих стосунків, де основними завданнями педагога є зняття емоційного напруження батьків, подолання їхньої тривожності та створення атмосфери психологічної безпеки, безумовного прийняття та взаємоповаги. На цьому етапі активно застосовуються технології «позитивного позиціонування» дитини. Розмова з батьками розпочинається не з переліку порушень, дефіцитів чи труднощів у поведінці, а з висвітлення збережених можливостей, сильних сторін, ресурсів,

особистісних зацікавлень і перших успіхів дитини в освітньому середовищі. Важливу роль відіграє використання технік активного та безоціночного слухання, вербалізації почуттів та емпатійного віддзеркалення, що дозволяє батькам відчути родинну прийнятість і фахову підтримку.

Другий етап орієнтований на спільну діагностику та комплексне обговорення освітніх потреб дитини. Важливою психологічною установкою даного етапу є визнання батьків рівноправними партнерами та «експертами щодо власної дитини», які володіють унікальним досвідом щоденного спостереження за її поведінкою, реакціями та емоційними станами. Інструментарієм етапу є проведення структурованого або напівструктурованого інтерв'ю, під час якого з'ясовуються особливості функціонування дитини в домашньому середовищі, її побутові звички, специфіка сенсорної чутливості, індивідуальні способи заспокоєння в ситуаціях стресу, улюблені види діяльності та мотиваційні чинники. Спільний аналіз результатів психолого-педагогічного обстеження дозволяє уникнути викривлень та сформувати об'єктивний, цілісний портрет дитини.

Третій етап полягає у розробленні, корегуванні та реалізації Індивідуальної програми розвитку (у межах діяльності Команди психолого-педагогічного супроводу. Батьки юридично та фактично входять до складу Команди супроводу як повноправні та обов'язкові учасники. Психологічна технологія взаємодії на цьому етапі базується на колегіальному узгодженні короткострокових і довгострокових цілей навчання, виховання й соціалізації, визначенні необхідного обсягу корекційно-розвивальних послуг, переліку спеціальних адаптацій та модифікацій освітнього середовища, а також розробленні єдиного режиму дня й сумісних виховних вимог у закладі освіти та вдома.

Четвертий етап передбачає організацію поточного зворотного зв'язку, системний моніторинг і спільну рефлексію досягнутих результатів. На цьому етапі реалізуються регулярні короткі консультативні зустрічі, використовуються електронні портфоліо досягнень, «щоденники вражень» або партнерські карти спостережень. Педагог разом із батьками аналізує динаміку розвитку дитини, оцінює ефективність обраних форм роботи, відзначає позитивні зрушення та за потреби вносить оперативні корективи до Індивідуальної програми розвитку.

О. Гаяш (2015) підкреслює, що вагомим чинником ефективності описаного алгоритму є використання інтерактивних та групових форм взаємодії закладу освіти з родинами. До дієвих форм належать батьківські клуби, тренінги сумісної дитячо-батьківської діяльності, арт-терапевтичні майстерні, консультативні вітальні та волонтерські проєкти. Вони сприяють не лише підвищенню батьківської компетентності, а й руйнують негативні стереотипи, упередження та соціальні бар'єри щодо осіб з особливими освітніми потребами, зниженню соціальної ізоляції родин та формуванню інклюзивної культури освітньої спільноти в цілому.

Отже, побудова партнерської взаємодії з родинами дітей з особливими освітніми потребами є поетапним технологізованим процесом, який охоплює

послідовну реалізацію чотирьох кроків від первинного встановлення довіри до постійного моніторингу й рефлексії результатів у межах Індивідуальної програми розвитку. Використання спеціалізованих психологічних технологій (позитивного позиціонування, емпатійного слухання, структурованого інтерв'ювання та фасилітації) забезпечує перехід від авторитарно-повчальної моделі спілкування до рівноправного співробітництва, де батьки виступають повноцінними експертами та суб'єктами Команди супроводу.

Інтеграція індивідуальних та групових форм взаємодії (батьківських клубів, арт-терапевтичних майстерень, спільних тренінгів) дозволяє створити підтримувальне інклюзивне середовище, мінімізувати емоційне виснаження батьків та забезпечити високу ефективність освітньо-корекційного маршруту дитини.

2.3. Профілактика емоційного вигорання та збереження психічного здоров'я педагога в інклюзивному середовищі

Інклюзивне освітнє середовище за своєю природою ставить високі вимоги до психоемоційної сфери фахівця. Постійне включення у складні психолого-педагогічні ситуації, тривала взаємодія з дитячою травмою, супровід дітей із різними спектрами порушень розвитку, розв'язання конфліктних та емоційно напружених ситуацій із батьками, а також висока соціальна та професійна відповідальність за результати інклюзивного навчання створюють колосальне психофізіологічне навантаження. У сукупності з інформаційним перевантаженням, адаптацією до постійних нормативних змін та сучасними воєнними й безпековими викликами ці чинники суттєво підвищують ризик розвитку синдрому емоційного вигорання, депресивних станів і втоми від співчуття.

У контексті інклюзивної освіти психологічна готовність педагога до партнерської взаємодії є неможливою без розвиненої особистісної ресурсності, вміння встановлювати психологічні кордони, сформованих навичок самотурботи та системної діяльності із збереження власного психічного й ментального здоров'я. Виснажений, емоційно вигорілий педагог утрачає здатність до емпатії, стає схильним до формалізму, роздратованості, захисної агресії чи відстороненості, що блокує можливість побудови довірливих суб'єкт-суб'єктних взаємин із родинами дітей з особливими освітніми потребами.

Професійна саморегуляція та збереження психологічного ресурсу освітянина вимагають комплексного підходу, який поєднує особистісні, комунікативні та організаційні рівні психопрофілактики. Система самовідновлення та збереження ресурсу педагога в інклюзивному середовищі передбачає реалізацію кількох напрямів.

Перший напрям полягає у формуванні усвідомленості (майндфулнес) та навичок тілесно-орієнтованої саморегуляції. Освоєння технік заземлення, експрес-вправ для зняття м'язового напруження, заспокійливого та діафрагмального дихання дозволяє швидко знижувати рівень гострого стресу та тривожності безпосередньо під час освітнього процесу чи складних переговорів. Важливим

елементом виступає чітке психологічне розмежування професійних та особистісних ролей, вміння «залишати» робочі проблеми в стінах закладу освіти та формувати екологічні ритуали переходу до особистого життя.

Другий напрям передбачає розвиток професійної резильєнтності та когнітивне переструктурування. Резильєнтність розглядається як динамічна здатність особистісно відновлюватися після стресових подій, зберігаючи внутрішню цілісність і професійну ефективність. Вона спирається на формування критичного мислення та трансформування установки з перфекціоністського очікування негайних результатів на сприйняття складних або нестандартних педагогічних ситуацій як цінного професійного досвіду й точки зростання, а не як особистої чи професійної поразки.

Третій напрям спрямований на організацію системи внутрішньоколективної підтримки та розвиток корпоративної культури інклюзивного закладу. Створення атмосфери психологічної безпеки, взаємодопомоги та довіри в педагогічному колективі є вирішальною умовою профілактики вигорання. Педагог повинен мати можливість відкрито й без остраху перед осудом або дисциплінарними наслідками висловити власні переживання, сумніви чи відчуття виснаження, отримавши кваліфіковану підтримку від адміністрації, колег і практичного психолога. Ефективними інструментами є проведення регулярної підтримки фахівців «допоміжних» професій (лікарів, психотерапевтів, психологів, соціальних працівників та педагогів), сесій інтервізії, профілактичних арт-терапевтичних тренінгів та кімнат психологічного розвантаження.

Четвертий напрям передбачає дотримання балансу між роботою та особистим життям, а також активне ресурсування. Це включає плекання особистісних інтересів і хобі, відновлення фізичного ресурсу через повноцінний сон, рухову активність, перебування на природі, а також збереження соціальних контактів поза межами професійної діяльності.

Таким чином, психологічно готовий педагог володіє стійкими й гнучкими механізмами саморегуляції, що дозволяє йому ефективно долати стресові чинники, уникати емоційного виснаження та постійно залишатися ресурсною, емоційно стабільною та надійною опорою як для дитини з особливими освітніми потребами, так і для її батьків у межах командної співпраці.

Збереження психічного здоров'я та профілактика синдрому емоційного вигорання педагога виступають фундаментальною базовою умовою забезпечення якості інклюзивної освіти та побудови стійких партнерських взаємин із родинами дітей з особливими освітніми потребами. Система збереження ресурсності освітянина є багаторівневою й охоплює опанування технік усвідомленості та саморегуляції, розвиток особистісної та професійної резильєнтності, а також розмежування професійного та особистісного простору.

Вирішальну роль у запобіганні вигоранню відіграє створення в закладі освіти безпечного середовища внутрішньоколективної підтримки через проведення супервізій, інтервізійних зустрічей, кімнат психологічного

розвантаження та надання кваліфікованої допомоги з боку практичного психолога.

Висновки

1. У результаті теоретико-методологічного аналізу проблеми дослідження з'ясовано, що психологічна готовність педагога до партнерської взаємодії з батьками дітей з особливими освітніми потребами є складним, системним та інтегративним утворенням особистості, яке визначає якість освітньої та корекційно-розвивальної взаємодії. Даний феномен охоплює чотири взаємопов'язані компоненти: мотиваційно-ціннісний (наявність внутрішньої мотивації до інклюзивної практики, толерантність, гуманістична спрямованість та готовність до рівноправної співпраці), когнітивний (глибокі знання специфіки розвитку дітей з різними нозологіями, володіння психологічними основами сімейного виховання та закономірностей проходження батьками кризових станів), емоційно-вольовий (високий рівень емпатії, емоційна саморегуляція, стресостійкість і здатність опановувати власну тривожність) та діяльнісно-поведінковий (володіння перцептивними й комунікативними технологіями, вміння фасилітувати конфлікти та організовувати спільну діяльність). Доведено, що ця готовність слугує фундаментальною базовою передумовою успішної реалізації інклюзивного навчання, гуманізації освітнього простору та подолання бар'єрів між сім'єю і закладом освіти.

2. Визначено та детально проаналізовано нормативно-правовий контекст побудови партнерства «заклад освіти – родина» в Україні, який створює міцне підґрунтя для переходу від автократичних та інформувальних моделей до суб'єкт-суб'єктного співробітництва. Вивчення засад Законів України «Про освіту», «Про дошкільну освіту», «Про вищу освіту», Концепції розвитку інклюзивної освіти, Постанови КМУ № 765, а також Національної стратегії із створення безбар'єрного простору підтвердило, що сучасне законодавство офіційно закріплює рівноправний статус батьків як повноправних суб'єктів освітнього процесу. Окремо обґрунтовано обов'язковість залучення батьків до складу Команди психолого-педагогічного супроводу, де вони беруть юридичну та морально-етичну відповідальність за визначення освітньої траєкторії, узгодження адаптацій і модифікацій та участь у розробленні Індивідуальної програми розвитку (ІПР) дитини.

3. Систематизовано та класифіковано основні психологічні, комунікативні та соціальні бар'єри, що виникають у процесі взаємодії педагогів із родинами дітей з емоційними, когнітивними та фізичними порушеннями. З'ясовано, що головними перешкодами з боку батьків є заперечення діагнозу, перебування на етапах шоку, гніву чи депресії, підвищена тривожність, соціальна ізоляція та захисна агресія. З боку педагогів бар'єрами виступають професійні стереотипи, брак інформаційно-методичної підготовки, почуття безпорадності та синдром емоційного вигорання. Доведено, що конструктивним шляхом подолання цих розривів є впровадження принципів ненасильницького спілкування, застосування методик активного й емпатійного слухання, технік «Я-повідомлення» та розбудова відкритого, безбар'єрного середовища взаємної довіри й взаємоповаги.

4. Запропоновано комплекс практичних технологій і методичних підходів для формування та розвитку інклюзивної компетентності педагогів у системі фахової підготовки та безперервного підвищення кваліфікації. Визначено дієвість використання тренінгових форм навчання, сесій інтервізії й супервізії, аналізу конкретних ситуацій (кейс-методів) та моделювання педагогічних конфліктів. Науково обґрунтовано та деталізовано поетапний алгоритм побудови партнерської взаємодії з родинами дітей з ООП, який охоплює чотири взаємопов'язані блоки: 1) первинний контакт та встановлення довіри за допомогою технології «позитивного позиціонування» дитини; 2) спільна діагностика потреб та інтеграція батьківського досвіду як «експертів щодо власної дитини»; 3) колегіальне розроблення та реалізація Індивідуальної програми розвитку в межах Команди супроводу; 4) організація поточного зворотного зв'язку, моніторинг динаміки та спільна рефлексія результатів освітньо-корекційного маршруту.

5. Підкреслено, що важливим і неодмінним складником психологічної готовності педагога в сучасних умовах є володіння розвиненими навичками збереження власного психічного й ментального здоров'я, системна профілактика емоційного вигорання та формування особистісної й професійної резильєнтності. В умовах тривалого стресу, воєнних викликів та повоєнної відбудови України професійний ресурс освітянина потребує захисту через опанування технік майндфулнес, саморегуляції, дотримання психологічних кордонів і формування колегіальної підтримки в педагогічному колективі.

Перспективи подальших наукових розвідок полягають у розробленні та експериментальній перевірці цілісних інноваційних програм тренінгового та психотерапевтичного супроводу педагогів і батьків у процесі реалізації інклюзивного навчання в закладах дошкільної, загальної середньої та позашкільної освіти, а також у створенні цифрових інструментів для дистанційної партнерської комунікації й психологічної підтримки родин.

Література

1. Варецька, О., & Хаустова, О. (2023). Розвиток готовності вчителів до роботи в інклюзивному середовищі. Молодь і ринок, 10(218), 37–44. DOI: https://doi.org/10.24919/2308-4634.2023.292864

2. Гаяш, О. В. (2015). Співпраця закладу освіти з батьками дітей з особливими освітніми потребами як умова реалізації ідей інклюзії. Актуальні проблеми навчання та виховання людей з особливими потребами: зб. наук. праць, 12(14), 99–113.

3. Колупаєва, А. А., & Савчук, Л. О. (2010). Діти з особливими потребами та організація їхнього навчання. Київ: Науковий світ, 52–56.

4. Колупаєва, А. А., & Таранченко, О. М. (2023). Діти з особливими освітніми потребами: навчання та підтримка під час повоєнної відбудови: навчальний посібник (Серія «Інклюзивна освіта»). Київ. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/739320/1/Kolupaeva.Taranchenko.Dity.z.OOP.vijna.pdf

5. Концепція розвитку інклюзивної освіти: наказ Міністерства освіти і науки України від 01.10.2010 № 912. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0912290-10#Text

6. Косарєва, Г. М. (2014). Основи формування інклюзивної компетентності майбутніх вихователів дошкільних навчальних закладів. Педагогічний альманах, 330–335. URL: https://ps.journal.kspu.edu/index.php/ps/article/view/2646

7. Коханова, О. (2011). Психологія партнерської взаємодії в освіті: навчально-методичний посібник. Київ: Вид-во ПП Щербатих О.В. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/2004/1/O_Kokhanova_PPTP_2_IPSP.pdf

8. Кравченко, Г. Ю., & Сіліна, Г. О. (2014). Інклюзивна освіта в дошкільних навчальних закладах. Харків: Вид-во «Ранок». 176 с.

9. Національна стратегія із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 квітня 2021 р. № 366-р. URL: https://mindev.gov.ua/diialnist/bezbariernyi-prostir/natsionalna-stratehiia-zi-stvorennia-bezbariernoho-prostoru-v-ukraini

10. Педорич, А. (2018). До питання готовності педагогів до інклюзивної освіти. Освітологія, 7, 101–107. https://doi.org/10.28925/2226-3012.2018.7.101107

11. Порошенко, М. А. (2019). Інклюзивна освіта: навчальний посібник. Київ: ТОВ «Агенство Україна». 300 с.

12. Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII (редакція від 01.01.2026 № 4681-IX). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text

13. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо організації навчання осіб з особливими освітніми потребами: Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2021 р. № 765. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/765-2021-%D0%BF#Text

14. Про дошкільну освіту: Закон України від 2001 р. № 49, ст. 259 (2024, № 42, 258). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3788-20#Text

15. Про освіту: Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

16. Психологічні особливості партнерської взаємодії вчителя та батьків дитини з особливими освітніми потребами в умовах інклюзивної освіти. (2021). Актуальні проблеми психології в закладах освіти, 11, 131–139. https://doi.org/10.31812/psychology.v11i0.4418

17. Савчук, З. С. (2022). Деякі аспекти розвитку психологічної готовності педагога до роботи в інклюзивному просторі. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців, 52, 111–116. URL: https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/5274

18. Фенцик, О. М. (2025). Партнерська взаємодія закладу освіти з батьками дітей з особливими освітніми потребами: бар'єри та шляхи подолання. Педагогічна Академія: наукові записки, (20). https://doi.org/10.5281/zenodo.16884933

19. Чайковський, М. Є. (2011). Інклюзивний освітній простір як сучасний педагогічний феномен. Теоретико-методологічні проблеми виховання дітей та учнівської молоді, 15(1), 16–24.

20. Haug, P. (2017). Understanding inclusive education: Ideals and reality. Scandinavian Journal of Disability Research, 19(3), 206–217. URL: https://doi.org/10.1080/15017419.2016.1224778

21. Slee, R. (2018). Defining the scope of inclusive education. UNESCO. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265773

22. UNESCO. (2020). Global education monitoring report 2020: Inclusion and education: All means all. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373718

3.6. Forms, Content and Innovative Technologies of Physical Culture and Health-Improving Activities with Students During Extracurricular Time

ФОРМИ, ЗМІСТ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФІЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВЧОЇ РОБОТИ З УЧНЯМИ У ПОЗАУРОЧНИЙ ЧАС

Позакласна робота з фізичної культури є складовою системи фізичного виховання учнів закладів загальної середньої освіти та здійснюється у вільний від обов'язкових навчальних занять час. Її основною особливістю є можливість створення додаткових умов для рухової активності школярів, розвитку їхніх фізичних якостей, удосконалення рухових умінь і навичок, активного відпочинку та формування інтересу до фізичної культури і спорту. Зміст такої діяльності може бути різноманітним і залежить від віку учнів, їхніх інтересів, рівня фізичної підготовленості, матеріально-технічних можливостей закладу освіти та організаційних умов [2].

Форма позакласної роботи визначає спосіб організації учнів, характер їхньої участі, тривалість та умови проведення фізкультурно-оздоровчої діяльності. У шкільній практиці доцільно поєднувати групові, масові, індивідуальні та комбіновані форми. Їх використання дозволяє охопити різні категорії учнів від тих, хто регулярно займається спортом, до школярів, які мають невисокий рівень фізичної підготовленості або лише починають залучатися до систематичної рухової діяльності [9].

Однією з основних форм є групова позакласна робота. Вона передбачає об'єднання учнів у невеликі групи відповідно до спільних інтересів або обраного виду фізичної активності. До таких форм належать спортивні секції, гуртки, групи загальної фізичної підготовки, фітнес-групи, туристичні гуртки та інші об'єднання. Наприклад, у закладі освіти можуть функціонувати секції з футболу, волейболу, баскетболу, настільного тенісу, легкої атлетики, гімнастики або групи оздоровчого фітнесу.

Перевагою групової форми є можливість систематично працювати з учнями, які мають спільні інтереси. Учитель може поступово ускладнювати вправи, добирати навантаження відповідно до можливостей учасників та контролювати

техніку виконання. Водночас групові заняття сприяють взаємодії між учнями, формуванню навичок співпраці та відповідальності.

Масові форми передбачають одночасну участь значної кількості школярів. До них належать спортивні свята, дні здоров'я, шкільні змагання, естафети, фестивалі рухової активності, туристичні походи, фізкультурні флешмоби та інші загальношкільні заходи. Їх особливістю є можливість залучення учнів різного віку та рівня фізичної підготовленості.

Під час проведення Дня здоров'я можна організувати рухливі ігри, командні естафети, туристичні завдання, конкурси на координацію, вправи з м'ячами та інші доступні види активності. Для старших учнів можна передбачити організаційну роль: підготовку станцій, допомогу в проведенні естафет, ведення протоколів або підготовку рухових завдань. Це сприяє не лише руховій активності, а й розвитку організаторських здібностей.

Важливою формою є індивідуальна фізкультурна діяльність. Вона передбачає виконання учнем фізичних вправ самостійно, відповідно до власних інтересів та можливостей. Це можуть бути ранкова гімнастика, прогулянки, біг, їзда на велосипеді, виконання комплексу вправ удома, самостійні заняття фітнесом або участь у доступних видах рухової активності. Завдання педагога полягає у формуванні в учнів навичок безпечного та свідомого планування таких занять.

Особливого значення індивідуальна форма набуває у 10-11 класах, коли школярі можуть поступово переходити від переважно організованої діяльності до самостійного планування фізичної активності. Учитель може запропонувати учням скласти нескладний тижневий план рухової активності, вести щоденник занять або визначати власні цілі щодо розвитку окремих фізичних якостей.

Окрему групу становлять форми активного дозвілля, які поєднують фізичну активність із відпочинком та позитивними емоціями. До них можна віднести рухливі ігри, прогулянки, туристичні походи, велосипедні прогулянки, спортивно-ігрові заходи, танцювальні програми, квести та фізкультурні розваги. Їх особливістю є відсутність надмірної орієнтації на спортивний результат. Основна увага приділяється задоволенню від рухової діяльності та бажанню брати в ній участь [2].

За регулярністю проведення позакласні форми можна умовно поділити на систематичні, періодичні та епізодичні. Систематичними є секційні та гурткові заняття, які проводяться регулярно за визначеним графіком. Періодичними можуть бути спортивні змагання, туристичні заходи або тематичні фізкультурні дні, які організовуються протягом навчального року. Епізодичні форми можуть використовуватися як окремі рухові акції, флешмоби, челенджі або разові заходи [2].

За характером участі учнів можна виділити добровільні та організовані форми. Участь у спортивних секціях, гуртках та багатьох заходах відбувається на основі особистого інтересу школяра. Водночас педагог може створювати умови, які мотивують учнів долучатися до фізкультурної діяльності: пропонувати

різноманітні види активності, враховувати побажання школярів, використовувати ігрові та сучасні форми роботи [4].

Важливим принципом організації будь-якої форми позакласної роботи є доступність для учнів з різним рівнем фізичної підготовленості. Наприклад, під час естафети можна передбачити декілька варіантів виконання одного завдання, під час фітнес-заняття використовувати вправи різної складності, а під час туристичного заходу, різні за тривалістю маршрути. Це дозволяє уникати ситуації, коли участь у позакласній діяльності доступна лише фізично підготовленим школярам.

Вікова адаптація також є необхідною умовою. Учням 1-4 класів доцільно пропонувати рухливі ігри, естафети, прості фізкультурні розваги, танцювальні та ритмічні вправи. У 5-9 класах можна збільшувати частку спортивних ігор, секційних занять, туристичних заходів, фітнес-програм та командних змагань. Для учнів 10-11 класів важливо розширювати можливості самостійного вибору фізичної активності, самоконтролю та участі в організації шкільних фізкультурно-оздоровчих заходів.

Ефективна система позакласної роботи передбачає поєднання різних форм, оскільки жодна з них не може повністю задовольнити потреби всіх школярів. Учень може відвідувати спортивну секцію двічі на тиждень, брати участь у шкільних змаганнях, виконувати короткий комплекс вправ удома та проводити активний відпочинок у вихідні. Таким чином формується не окремий захід, а цілісна система рухової активності [7, 8].

Організація позакласної роботи потребує також дотримання вимог безпеки. Перед початком занять учні повинні бути ознайомлені з правилами поведінки та технікою безпеки. Учитель має враховувати стан спортивного обладнання, умови проведення заходу, кількість учасників, складність вправ та відповідність навантаження віку і фізичним можливостям школярів.

Отже, форми позакласної роботи з фізичної культури характеризуються різноманітністю організації та змісту. До основних належать групові, масові, індивідуальні та комбіновані форми, які реалізуються через секції, гуртки, спортивні змагання, фізкультурні свята, активне дозвілля, туристичні заходи та самостійну рухову діяльність. Їх поєднання створює умови для залучення більшої кількості учнів до фізичної активності, врахування їхніх інтересів і можливостей та формування стійкої потреби у регулярних заняттях фізичною культурою.

Гурткова та секційна робота є важливою складовою позакласної фізкультурно-оздоровчої діяльності у закладах загальної середньої освіти. Її основною особливістю є систематичне залучення учнів до занять у вільний від обов'язкових уроків час відповідно до їхніх інтересів, фізичних можливостей та бажання займатися певним видом рухової активності. На відміну від масових заходів, які можуть мати епізодичний характер, гуртки та спортивні секції передбачають регулярність занять, поступове ускладнення вправ і послідовне формування рухових умінь та фізичних якостей.

Гурткова робота має переважно фізкультурно-оздоровчу та загальнорозвивальну спрямованість. Її зміст може охоплювати загальну фізичну підготовку, рухливі ігри, оздоровчу гімнастику, фітнес, танцювально-рухову діяльність, туристичну підготовку, вправи на координацію, гнучкість, рівновагу та витривалість. Головним завданням таких занять є не стільки досягнення спортивного результату, скільки формування позитивного ставлення до рухової активності, підвищення рівня фізичної підготовленості та створення умов для активного дозвілля учнів.

Секційна робота має більш виражену спортивну спрямованість. Вона організовується за окремими видами спорту або рухової діяльності: футболом, волейболом, баскетболом, легкою атлетикою, настільним тенісом, гімнастикою, плаванням, єдиноборствами та іншими доступними для закладу напрямами. Зміст занять передбачає засвоєння технічних прийомів обраного виду спорту, розвиток необхідних фізичних якостей, формування тактичних умінь, дотримання правил гри та поступову підготовку учнів до участі у внутрішкільних і міжшкільних змаганнях.

Важливим педагогічним завданням є правильне комплектування гуртків і секцій. При цьому необхідно враховувати вік учнів, стан їхньої фізичної підготовленості, інтереси, досвід занять, рівень сформованості рухових умінь та медичні рекомендації. Необхідно уникати ситуації, коли до однієї групи механічно об’єднуються учні з істотно різними можливостями без відповідної диференціації навантаження. У межах одного заняття педагог може використовувати варіативність вправ: змінювати кількість повторень, тривалість виконання, складність завдань, дистанцію, темп або величину опору.

Для учнів 1-4 класів доцільно використовувати переважно ігрову спрямованість гурткових занять. Значне місце можуть посідати рухливі ігри, естафети, вправи з м’ячами, скакалками, обручами, вправи на рівновагу та координацію. Наприклад, заняття може включати ходьбу і легкий біг, гру «Світлофор», естафету з передаванням м’яча, вправи на рівновагу та заключну рухливу гру. Такий підхід дає можливість підтримувати інтерес дітей і водночас забезпечувати різнобічний руховий розвиток.

У 5-9 класах зміст гурткової та секційної роботи може ставати більш спеціалізованим. Учні вже здатні виконувати складніші технічні завдання, усвідомлено контролювати власну діяльність та дотримуватися певної структури тренувального заняття. Наприклад, у футбольній секції можна послідовно відпрацьовувати ведення м’яча, передачі внутрішньою стороною стопи, зупинку м’яча, удари по воротах та ігрові ситуації 3×3 або 4×4. У волейбольній секції вдосконалюють нижню передачу, верхню передачу, подачу та навчальну гру з поступовим ускладненням правил.

Для учнів 10-11 класів доцільно посилювати самостійність та усвідомленість у виборі фізкультурно-спортивної діяльності. Поряд із технічною підготовкою можна використовувати вправи для розвитку сили, швидкісно-силових якостей, витривалості, координації та гнучкості. Старшокласники можуть брати участь у

плануванні окремих частин заняття, вести щоденник рухової активності, контролювати самопочуття та аналізувати власну динаміку фізичної підготовленості.

Ефективність гурткової та секційної роботи значною мірою залежить від структури заняття**.** Доцільно дотримуватися послідовності, яка забезпечує поступове включення організму в роботу. Наприклад, заняття тривалістю 45-60 хвилин може складатися з організаційної частини та розминки 8-10 хвилин, основної частини 30-40 хвилин і заключної частини 5-10 хвилин. У розминці використовують ходьбу, легкий біг, загальнорозвивальні вправи та рухи для основних суглобів. Основна частина залежить від спрямованості гуртка або секції, а заключна передбачає поступове зниження інтенсивності, вправи на відновлення дихання та коротке підбиття підсумків [6].

Структура заняття футбольної секції може бути такою: 5 хвилин, організація та повідомлення завдань; 8 хвилин – ходьба, біг і загальнорозвивальні вправи; 10 хвилин – ведення м’яча різними способами; 10 хвилин, передачі та прийом м’яча; 10 хвилин, удари по воротах; 10 хвилин, навчальна гра; 5 хвилин, вправи на відновлення та підбиття підсумків. Для молодших учнів тривалість окремих технічних вправ скорочується, а більша частина заняття проводиться у формі ігор та естафет.

У волейбольній секції основна частина може включати переміщення у стійці волейболіста, передачі м’яча над собою та партнеру, нижню пряму подачу, прийом подачі й навчальні ігрові вправи. Для початківців використовують спрощені умови: меншу відстань між партнерами, полегшені м’ячі, меншу висоту сітки або скорочену ігрову зону. У міру засвоєння технічних дій умови поступово наближаються до стандартних.

Особливе значення має мотиваційний аспект гурткової та секційної роботи. Учень повинен розуміти зміст завдань і бачити власний прогрес. Для цього педагог може використовувати особисті досягнення, невеликі командні змагання, естафети, ігрові завдання, контрольні вправи та самооцінювання. Водночас не варто зводити результативність роботи лише до спортивних досягнень. Для одного учня важливим результатом може бути покращення швидкості бігу, для іншого засвоєння нового технічного прийому, а для третього, регулярне відвідування занять і підвищення впевненості у власних рухових можливостях [2].

Важливою умовою є безпечна організація занять**.** Перед початком роботи педагог перевіряє стан спортивного залу або майданчика, справність обладнання, відповідність інвентарю віку учнів та організовує безпечне розміщення дітей. Фізичне навантаження повинно збільшуватися поступово. Необхідно враховувати самопочуття школярів, не допускати виконання складних вправ без попередньої підготовки та своєчасно коригувати навантаження.

Отже, гурткова та секційна робота створює умови для регулярної рухової активності школярів, поглиблення їхніх знань і практичних умінь, розвитку фізичних якостей та формування стійкого інтересу до фізичної культури і спорту. Гуртки доцільно використовувати для різнобічної фізкультурно-

оздоровчої підготовки, тоді як секції забезпечують більш спеціалізоване оволодіння певним видом спорту. Їх поєднання з урахуванням віку, інтересів та індивідуальних можливостей учнів дає змогу зробити позакласну фізкультурну діяльність систематичною, доступною та педагогічно доцільною.

Спортивно-масова та індивідуальна робота з учнями. Спортивно-масова та індивідуальна робота є важливими напрямами позакласної фізкультурної діяльності у закладах загальної середньої освіти. На відміну від систематичних занять у гуртках і секціях, вони дають змогу охоплювати ширше коло школярів та створювати різноманітні умови для прояву рухової активності. Спортивно-масова робота переважно передбачає участь значної кількості учнів у спільних фізкультурних і спортивних заходах, тоді як індивідуальна діяльність орієнтована на самостійний вибір школярем вправ, засобів і режиму рухової активності відповідно до власних інтересів та можливостей [6].

Спортивно-масова робота охоплює різноманітні заходи, які проводяться для класу, паралелі, всієї школи або декількох закладів освіти. До її основних форм належать спортивні свята, дні здоров'я, шкільні змагання, естафети, рухливі ігри, туристичні заходи, фізкультурні фестивалі, тематичні спортивні дні, конкурси та показові виступи. Такі заходи можуть мати як оздоровчу, так і спортивну спрямованість, однак важливо забезпечувати можливість участі не лише фізично підготовлених школярів, а й дітей із різним рівнем рухових можливостей [6].

Однією з найбільш поширених форм є шкільні спортивні змагання. Вони можуть проводитися з футболу, волейболу, баскетболу, настільного тенісу, легкої атлетики, шахів, спортивного орієнтування та інших видів діяльності. Організація змагання передбачає визначення його мети, учасників, місця та часу проведення, правил, системи визначення результатів, розподілу обов'язків між організаторами та заходів безпеки. Для молодших школярів доцільно використовувати переважно ігрові конкурси й естафети, тоді як для учнів середнього та старшого шкільного віку можливе проведення більш структурованих спортивних турнірів.

Спортивні свята та дні здоров'я мають комплексний характер. Вони можуть поєднувати рухливі ігри, естафети, спортивні конкурси, туристичні завдання, вправи на координацію та командні випробування. Наприклад, програма Дня здоров'я може включати ранкову руханку, командну естафету, станцію зі стрибками через скакалку, метанням м'яча, вправами на рівновагу, туристичну станцію та заключну рухливу гру. Такий формат дозволяє залучити учнів з різними інтересами та фізичними можливостями.

Ефективною формою є командні естафети, оскільки вони поєднують рухову активність із взаємодією між учасниками. Команда може послідовно виконувати біг із передаванням естафетної палички, обведенням м'яча, перенесенням предмета, стрибками через розмітку та поверненням до стартової лінії. Для молодших школярів завдання повинні бути простими та емоційно привабливими, а для старших можна використовувати складніші комбінації рухових дій.

Важливим напрямом спортивно-масової роботи є туристично-краєзнавча діяльність. Піші прогулянки, туристичні походи, орієнтування на місцевості та виконання елементарних туристичних завдань сприяють розвитку витривалості, координації, спостережливості та навичок взаємодії в групі. Для учнів початкової школи це можуть бути короткі прогулянки та ігрові маршрути на території закладу або в безпечній парковій зоні. Учням середнього та старшого шкільного віку можна пропонувати довші маршрути, завдання з орієнтування, визначення напрямку руху та організації туристичного привалу.

Особливе місце посідає індивідуальна фізкультурна діяльність учнів. Її сутність полягає в тому, що школяр самостійно виконує доступні фізичні вправи у вільний час, поступово формуючи навичку планування власної рухової активності. Це можуть бути ранкова гімнастика, ходьба, біг, їзда на велосипеді, рухливі ігри, вправи з власною вагою, розтягування, вправи на поставу, дихальні вправи або виконання індивідуального комплексу загальнорозвивальних вправ.

Для дітей молодшого шкільного віку індивідуальна діяльність повинна мати простий та доступний характер. Наприклад, учневі можна запропонувати щодня виконувати коротку ранкову руханку, гуляти пішки, грати в рухливі ігри на свіжому повітрі або виконувати 5-6 нескладних вправ для основних груп м’язів. Важливо, щоб батьки допомагали організувати безпечні умови, однак сама діяльність поступово повинна ставати звичною частиною повсякденного життя дитини.

Для учнів 5–9 класів можна поступово вводити елементи самостійного планування. Наприклад, школяр може скласти нескладний комплекс із присідань, вправ для м’язів тулуба, ходьби або бігу, вправ на гнучкість і координацію. Педагог може навчити учнів правильно визначати послідовність вправ, дозувати навантаження та оцінювати власне самопочуття після виконання комплексу.

У 10-11 класах індивідуальна робота може набувати більш усвідомленого характеру. Учні можуть самостійно визначати мету занять: підвищення витривалості, розвиток сили, покращення гнучкості, підтримання оптимальної рухової активності або підготовка до певного виду спорту. Наприклад, старшокласник може скласти тижневий план, який передбачає регулярну ходьбу або біг, вправи загальної фізичної підготовки, розтягування та активне відновлення.

Для формування навичок самостійної діяльності доцільно використовувати щоденник рухової активності. У ньому учень може фіксувати вид виконаної діяльності, її орієнтовну тривалість, власне самопочуття та короткий результат. Наприклад: «ходьба 30 хвилин; самопочуття добре» або «комплекс вправ 15 хвилин; після заняття відчуваю легку втому». Такий підхід допомагає дитині усвідомити зв’язок між регулярністю рухової активності та власним самопочуттям.

Педагогічно важливим є поєднання масових та індивідуальних форм. Наприклад, після проведення шкільного легкоатлетичного заходу учням можна запропонувати індивідуальні завдання для подальшої роботи: регулярну ходьбу,

вправи на розвиток швидкості або координації, короткі комплекси загальної фізичної підготовки. Після спортивного свята або Дня здоров'я можна організувати невеликий челендж рухової активності, у якому учні самостійно обирають доступний вид фізичних вправ та демонструють власний результат [6, 7].

Організовуючи спортивно-масову діяльність, педагог повинен враховувати доступність та диференціацію завдань. Один і той самий захід може містити завдання різного рівня складності. Наприклад, під час естафети частина учасників може виконувати біг, інші ходьбу з прискоренням, перенесення м'яча або вправи на координацію. Це дозволяє не перетворювати масовий захід на змагання лише між найбільш підготовленими учнями.

Не менш важливим є формування позитивної атмосфери та культури взаємодії**.** Спортивно-масові заходи повинні сприяти розвитку відповідальності, дисциплінованості, взаємодопомоги, уміння діяти в команді та дотримуватися правил. Педагогові доцільно акцентувати увагу не тільки на кінцевому результаті змагання, а й на дотриманні правил, активності, взаємній підтримці та особистому прогресі школярів.

Усі форми спортивно-масової та індивідуальної роботи повинні проводитися з дотриманням вимог безпеки. Перед заходами необхідно перевіряти спортивні майданчики та обладнання, пояснювати правила виконання вправ, забезпечувати достатню кількість вільного простору та не допускати надмірного фізичного навантаження. Під час самостійної діяльності учнів необхідно формувати навички безпечного вибору вправ, правильного дозування навантаження та своєчасного припинення занять у разі погіршення самопочуття.

Таким чином, спортивно-масова робота забезпечує широке залучення школярів до спільної фізкультурної діяльності, створює умови для рухової активності, соціальної взаємодії та організації змістовного дозвілля. Індивідуальна робота, своєю чергою, формує в учнів навички самостійного використання фізичних вправ у повсякденному житті. Їх поєднання дозволяє поступово переходити від організованої педагогом діяльності до більш самостійної та відповідальної рухової поведінки школярів.

Організація активного дозвілля школярів. Активне дозвілля є важливою складовою повсякденного життя школярів і передбачає використання вільного часу для рухової, ігрової, рекреаційної та фізкультурно-оздоровчої діяльності. Його організація у закладі загальної середньої освіти спрямована на створення умов, за яких учні можуть відновлювати працездатність, задовольняти потребу в руховій активності, спілкуватися з однолітками та проводити вільний час із користю для фізичного й психоемоційного стану [10].

Необхідність організації активного дозвілля пов'язана з тим, що значну частину дня школярі проводять у малорухомому положенні під час навчальних занять, виконання домашніх завдань, роботи з комп'ютером або використання мобільних пристроїв. Тому вільний час доцільно частково спрямовувати на

різноманітні види рухової діяльності. При цьому активне дозвілля не повинно сприйматися як продовження обов'язкового уроку фізичної культури. Його головними ознаками мають бути добровільність, емоційність, доступність, різноманітність і відповідність інтересам дітей.

Однією з найбільш доступних форм є рухливі ігри. Вони можуть проводитися на спортивному майданчику, у спортивній залі, рекреаційній зоні або на пришкільній території. Для молодших школярів це можуть бути «Квач», «Світлофор», «Влуч у ціль», естафети з м'ячами, стрибки через скакалку та різноманітні ігри з елементами бігу. Для учнів середнього та старшого шкільного віку можна використовувати командні рухливі ігри, міні-футбол, стрітбол, бадмінтон, фрізбі, настільний теніс та інші доступні види активності.

Важливим напрямом активного дозвілля є прогулянки та піші маршрути. Вони не потребують складного обладнання і можуть організовуватися як на території закладу освіти, так і за його межами за умови відповідного планування та безпеки. Прогулянка може включати звичайну ходьбу, прискорення на окремих ділянках, рухливі ігри, вправи на орієнтування або пізнавальні завдання. Для старших учнів можна організовувати туристичні прогулянки та нескладні походи.

Ефективною формою є активні перерви. Їх метою є зменшення тривалості безперервного сидіння та переключення учнів на інший вид діяльності. Під час перерви можуть проводитися короткі руханки, вправи на координацію, рухливі ігри, танцювальні вправи, вправи з м'ячем або прості комплекси загальнорозвивальних вправ. Активна перерва тривалістю 5-7 хвилин може включати ходьбу, 5-6 загальнорозвивальних вправ, кілька координаційних завдань і коротку рухливу гру.

Для учнів 1-4 класів активне дозвілля повинно переважно будуватися на ігровій основі. Дітям можна пропонувати естафети, ігри з м'ячем, танцювальні руханки, вправи зі скакалкою, прості смуги перешкод. Наприклад, під час перерви можна організувати маршрут із трьох станцій: ходьба по лінії, передавання м'яча та стрибки через невисоку розмітку. Такий формат поєднує різні рухові дії та підтримує інтерес дітей.

У 5-9 класах активне дозвілля може мати більш спортивну спрямованість. Учням можна запропонувати міні-турніри, командні естафети, ігри з м'ячем, бадмінтон, настільний теніс, рухові челенджі або короткі комплекси фітнес-вправ. Важливо, щоб учень мав можливість самостійно обирати вид активності з декількох запропонованих варіантів. Наприклад, на великій перерві одна група може грати у волейбол, інша — у бадмінтон, а третя виконувати короткий комплекс вправ на координацію.

Для 10-11 класів доцільно збільшувати частку самостійної організації дозвілля. Старшокласники можуть самостійно організовувати спортивні ігри, невеликі турніри, танцювальні активності, прогулянки, велосипедні маршрути або виконання індивідуальних комплексів фізичних вправ. Педагог при цьому

виконує організаційно-консультативну функцію, допомагаючи визначити безпечні умови та раціональний рівень навантаження.

Важливе місце в активному дозвіллі можуть займати спортивно-оздоровчі заходи. До них належать дні здоров'я, спортивні свята, туристичні прогулянки, квести, естафети, флешмоби, танцювальні заходи, змагання між класами та фізкультурні фестивалі. Фізкультурний квест може передбачати декілька станцій: «Спритність», «Рівновага», «Влучність», «Швидкість» і «Командна взаємодія». Учні переходять між станціями та виконують доступні завдання.

Особливої уваги потребує організація активного дозвілля на свіжому повітрі. За сприятливих погодних умов значну частину фізкультурної активності доцільно переносити на відкриті майданчики. Це можуть бути прогулянки, рухливі ігри, спортивні ігри, естафети, вправи з м'ячами, ходьба та легкий біг. Використання природного середовища урізноманітнює рухову діяльність та сприяє формуванню звички проводити вільний час активно.

Важливо враховувати пори року та погодні умови. У теплий період можна організовувати велосипедні прогулянки, рухливі ігри, спортивні ігри на відкритому повітрі та туристичні заходи. Восени й навесні доцільними є піші маршрути, естафети та ігри на відкритих майданчиках за сприятливих погодних умов. Узимку можливі зимові прогулянки, лижна підготовка або рухливі ігри на снігу, якщо умови є безпечними.

Одним із сучасних способів стимулювання активного дозвілля є використання рухових челенджів, квестів та інших організаційних форм, які дають змогу урізноманітнити рухову діяльність школярів і зробити її доступною для учнів із різним рівнем фізичної підготовленості. Доцільно пропонувати учням протягом тижня різні види фізичної активності: прогулянки, ранкову руханку, комплекси загальнорозвивальних вправ, їзду на велосипеді, рухливі та спортивні ігри тощо. При цьому основний акцент має робитися не на змагальному результаті, а на систематичності, добровільності та позитивному емоційному сприйнятті рухової активності. Такий підхід дозволяє враховувати індивідуальні можливості школярів і сприяє поступовому формуванню потреби у регулярному активному дозвіллі.

З метою практичної реалізації зазначених підходів доцільно використовувати структурований тижневий план активного дозвілля, у якому передбачено чергування різних за змістом, інтенсивністю та організаційними формами видів рухової діяльності. Запропонований варіант такого плану наведено в таблиці1.

Таблиця 1.

Тижневий план організації активного дозвілля школярів

День	Форма активного дозвілля	Орієнтовний зміст	Тривалість
Понеділок	Активна перерва	Руханка, вправи на координацію, коротка рухлива гра	10-15 хв
Вівторок	Рухливі та спортивні ігри	Міні-футбол, бадмінтон, настільний теніс або ігри з м'ячем	30-40 хв
Середа	День активної	Ходьба, нескладний маршрут, рухливі	30-45 хв

	прогулянки	ігри на свіжому повітрі	
Четвер	Фізкультурний квест	Станції «Спритність», «Рівновага», «Влучність», «Швидкість»	30-40 хв
П'ятниця	Танцювально-рухова активність	Ритмічні вправи, танцювальна руханка, вправи на розслаблення	20-30 хв
Вихідний день	Сімейне активне дозвілля	Прогулянка, велосипед, похід, рухливі ігри з родиною	45-90 хв

Такий план може змінюватися залежно від віку учнів, пори року, погодних умов, матеріально-технічних можливостей закладу освіти та інтересів дітей. Для молодших школярів збільшується частка рухливих ігор та естафет, для учнів 5-9 класів додаються спортивні і командні форми організації, а для старшокласників більше самостійної організації різних активностей.

Наведемо приклад одного із фізкультурних квестів для учнів 5-9 класів, який можна організувати таким чином:

1. Організаційний етап – 3-5 хвилин. Пояснення мети, правил, формування команд та інструктаж із безпеки.
2. Станція «Швидкість» – 5 хвилин. Короткі прискорення або човниковий біг у доступному темпі.
3. Станція «Спритність» – 5 хвилин. Обведення м'яча між фішками або проходження нескладної смуги перешкод.
4. Станція «Влучність» – 5 хвилин. Метання м'яча в ціль або виконання кидків у кошик.
5. Станція «Рівновага» – 5 хвилин. Ходьба по розмітці, утримання рівноваги, нескладні координаційні вправи.
6. Станція «Командна взаємодія» – 5 хвилин. Передавання м'яча, спільна естафета або виконання командного завдання.
7. Заключна частина – 5 хвилин. Повільна ходьба, дихальні вправи, відновлення та коротке обговорення результатів.

Для учнів 1-4 класів цей самий план спрощують: тривалість станцій зменшують до 3–4 хвилин, завдання виконують переважно у формі гри, а складні вправи замінюють доступними руховими діями. Для 10-11 класів можна збільшити самостійність учнів: доручити їм підготувати окремі станції, провести розминку або організувати командну гру під контролем педагога.

Організація активного дозвілля передбачає також співпрацю школи та сім'ї. Батьки можуть підтримувати участь дітей у прогулянках, велосипедних поїздках, походах, сімейних спортивних іграх та інших видах рухової діяльності. Заклад освіти може запропонувати сімейний спортивний день, під час якого батьки та діти разом виконують естафети, грають у рухливі ігри та беруть участь у туристичному квесті [9,10].

Під час організації активного дозвілля необхідно забезпечувати добровільність та доступність участі. Не всі учні мають однаковий рівень фізичної підготовленості або однакові інтереси. Тому доцільно пропонувати декілька варіантів діяльності та передбачати різний рівень складності. Під час

фізкультурного квесту замість одного нормативного завдання можна запропонувати учням декілька вправ із різною складністю. Це сприяє залученню більшої кількості школярів і зменшує ризик негативного ставлення до фізичної активності.

Необхідною умовою є дотримання правил безпеки. Перед початком активності педагог або відповідальна особа повинні перевірити місце проведення, обладнання та інвентар, визначити межі безпечної зони та ознайомити учнів із правилами поведінки. Під час занять на відкритому повітрі слід враховувати температуру, опади, стан покриття, освітленість та інші фактори, які можуть впливати на безпеку.

Таким чином, активне дозвілля школярів має розглядатися як організована або самостійно обрана рухова діяльність, яка допомагає раціонально використовувати вільний час, підтримувати фізичну активність і забезпечувати емоційне відновлення. Його зміст може включати рухливі та спортивні ігри, прогулянки, активні перерви, туристичні заходи, квести, естафети, танцювальні активності та індивідуальні фізичні вправи. Конкретне планування дозволяє систематизувати ці форми, чергувати різні види діяльності та враховувати вікові й індивідуальні особливості школярів. Педагогічно грамотна організація такого дозвілля сприяє формуванню стійкої потреби в активному способі життя.

Особливості залучення учнів до систематичних занять фізичною культурою і спортом. Систематичні заняття фізичною культурою і спортом є важливою умовою фізичного, психічного та соціального розвитку школярів. Однак наявність спортивних секцій, гуртків і масових заходів не забезпечує автоматичної регулярної участі учнів. Для цього необхідно створити умови, за яких фізична активність буде доступною, цікавою та відповідатиме віку, інтересам і можливостям школярів [7].

Основою залучення є позитивна мотивація. Вона може ґрунтуватися на бажанні покращити фізичну підготовленість, опанувати певний вид спорту, спілкуватися з однолітками, брати участь у змаганнях або активно проводити вільний час. Тому педагогові важливо не зводити результат занять лише до спортивних досягнень, а враховувати особистий прогрес кожного учня.

Ефективним засобом підтримання інтересу є різноманітність фізкультурної діяльності**.** Доцільно чергувати спортивні та рухливі ігри, естафети, фітнес, танцювальні вправи, туристичні заходи, загальну фізичну підготовку та індивідуальні комплекси. Перед організацією позакласної роботи можна провести коротке опитування школярів щодо їхніх уподобань і на цій основі формувати зміст занять.

Для учнів 1-4 класів провідною формою залучення є рухлива гра. Естафети, ігри з м’ячем, танцювальні руханки, вправи зі скакалкою та прості смуги перешкод дають змогу розвивати фізичні якості без надмірної одноманітності.

У 5-9 класах доцільно розширювати вибір спортивної діяльності: проводити міні-турніри, командні ігри, спортивні квести, челенджі, заняття з легкої атлетики, фітнесу та інших доступних напрямів. Важливо створювати умови для

прояву особистих здібностей і поступового підвищення рівня фізичної підготовленості.

Для 10-11 класів особливого значення набуває самостійність. Старшокласники можуть обирати вид активності, визначати особисті цілі, складати нескладні комплекси вправ, вести щоденник рухової активності та аналізувати власний прогрес. Педагог у цьому випадку виконує переважно організаційно-консультативну функцію.

Важливим чинником регулярності є досяжність поставлених цілей. Замість загальної вимоги «покращити фізичну форму» доцільно визначати конкретні завдання: регулярно виконувати короткий комплекс вправ, покращити техніку певного руху, збільшити тривалість активної ходьби або досягти особистого результату у вибраній вправі. Після досягнення мети встановлюється наступне посильне завдання.

Необхідно враховувати індивідуальні відмінності школярів. Диференціація може здійснюватися шляхом зміни кількості повторень, тривалості, дистанції, темпу або складності вправи. Наприклад, під час естафети учні можуть виконувати різні за складністю рухові завдання, а в спортивній грі змінюються розмір майданчика, кількість учасників або правила. Це дозволяє залучати дітей із різним рівнем фізичної підготовленості.

Підтриманню інтересу сприяє позитивне оцінювання. Педагогові варто відзначати не лише перемогу чи найкращий результат, а й регулярність, старанність, особистий прогрес, дотримання правил та командну взаємодію. Доцільно використовувати різні номінації: «За особистий прогрес», «За активність», «За командну взаємодію», «За наполегливість». Це створює позитивне ставлення до занять і не зводить їх до конкуренції між найбільш підготовленими учнями.

Практичним засобом залучення є рухові челенджі, спортивні квести та тематичні тижні. Одним із таких тижнів може бути, «Тиждень рухової активності» до якого входять: день рухливих ігор, день спортивних ігор, день активної прогулянки, танцювальну руханку та командну естафету. Такі заходи урізноманітнюють діяльність і можуть стати переходом до регулярних занять у гуртках, секціях або самостійно.

Для формування систематичності доцільно використовувати простий алгоритм залучення:

1. Вибір виду активності відповідно до інтересів учня.
2. Постановка конкретної мети на певний період.
3. Планування регулярних занять протягом тижня.
4. Виконання та самоконтроль із фіксацією активності й самопочуття.
5. Оцінювання особистого прогресу наприкінці визначеного періоду.
6. Корекція плану відповідно до результатів та індивідуальних можливостей.

Для учня 7 класу можна передбачити такий тижневий режим: понеділок – 20 хвилин спортивних або рухливих ігор; вівторок – 15 хвилин

загальнорозвивальних вправ; середа – активна прогулянка 30 хвилин; четвер – заняття у спортивній секції; п'ятниця – рухлива гра або велосипедна прогулянка; вихідний день – сімейна прогулянка чи інший доступний вид активності**.** Конкретний зміст і навантаження коригуються відповідно до віку, підготовленості та самопочуття учня [10].

Важливу роль відіграє підтримка сім'ї та педагогічного колективу. Спільні спортивні свята, сімейні прогулянки, туристичні заходи, дні здоров'я та інші форми активного дозвілля допомагають закріпити позитивне ставлення до рухової активності. При цьому систематичність не означає постійне виконання інтенсивних вправ: важливими є раціональне чергування навантаження, відпочинку та різних видів діяльності.

Усі заняття повинні відповідати віковим та індивідуальним можливостям учнів і вимогам безпеки**.** Педагог контролює правильність виконання вправ, поступовість збільшення навантаження, стан спортивного обладнання та умови проведення занять.

Отже, залучення учнів до систематичних занять фізичною культурою і спортом передбачає поєднання мотивації, різноманітності, доступності та особистісної спрямованості діяльності. Найбільш ефективними є такі умови, за яких школяр може обирати цікаву для себе активність, бачити власний прогрес, поступово підвищувати рівень підготовленості та набувати досвіду самостійної організації рухової діяльності. Це сприяє переходу від епізодичної участі у фізкультурних заходах до регулярної рухової активності як складової повсякденного життя

Використання інформаційно-комунікаційних технологій у позакласній роботі. Цифровізація суспільства суттєво вплинула на всі сфери життя, у тому числі й на освіту. Сучасні учні активно використовують смартфони, планшети, комп'ютери, смарт-годинники та інші цифрові пристрої. Тому використання інформаційно-комунікаційних технологій у фізичному вихованні є закономірним етапом розвитку освітнього процесу. Водночас важливо не просто переносити традиційні завдання у цифрове середовище, а використовувати технології для підвищення мотивації, самоконтролю та якості організації рухової активності [1, 5].

Одним із найпростіших варіантів використання ІКТ є застосування мультимедійних матеріалів. Учням можна демонструвати відеозаписи правильного виконання фізичних вправ, техніки спортивних рухів, фрагменти змагань або короткі навчальні ролики. Відеоматеріал дозволяє школярам побачити рух не лише з боку, а й у сповільненому режимі, звернути увагу на положення окремих частин тіла та порівняти правильне і неправильне виконання вправ.

Особливо корисним є відеоаналіз рухової діяльності. Наприклад, під час підготовки до спортивних змагань учитель може записати виконання учнем технічної дії, після чого разом проаналізувати відео. Такий метод дозволяє школяреві самостійно побачити власні помилки. Під час аналізу можна звернути

увагу на положення тулуба, роботу рук і ніг, координацію рухів, темп та завершальну фазу вправи (рис 1.)



Рис. 1. Відеоаналіз рухової діяльності під час тренувальних занять

Значні можливості відкриває використання мобільних застосунків для контролю фізичної активності. Багато сучасних смартфонів здатні автоматично підраховувати кількість кроків, приблизну тривалість активності та інші показники. У позакласній роботі ці можливості можуть використовуватися для формування навичок самоконтролю. Учні можуть протягом тижня спостерігати за власною руховою активністю, аналізувати її та визначати, у які дні вони рухаються більше або менше.

Не менш цікавим є використання фітнес-трекерів і смарт-годинників. Такі пристрої можуть фіксувати кількість кроків, тривалість рухової активності, пульс та інші параметри залежно від моделі. Для школярів це може бути додатковим стимулом до рухової активності. Клас може організувати тижневий проєкт, у якому кожен учасник відстежує власну активність і наприкінці тижня аналізує результати.

Однак під час використання цифрових пристроїв необхідно враховувати педагогічні та етичні аспекти. Учитель не повинен перетворювати контроль показників на постійне порівняння дітей між собою. Фізична активність школярів має різний характер, а цифрові пристрої не завжди точно вимірюють усі показники. Тому їх доцільно використовувати передусім як засіб самоспостереження, а не як абсолютний критерій оцінювання.

Цікавим інструментом є QR-коди. Їх можна використовувати для створення рухових квестів. На території школи або спортивного майданчика розміщуються QR-коди, після сканування яких учень отримує завдання. Це може бути фізична вправа, питання про здоровий спосіб життя, завдання на координацію або пошук наступної станції. Таким чином, звичайний смартфон стає частиною рухової гри.

Учням можна запропонувати пройти «Цифровий спортивний квест». На першій станції вони сканують QR-код і отримують завдання виконати 15 присідань. Після виконання переходять до наступної станції, де необхідно виконати вправу на рівновагу. На третій станції учасники отримують питання

про правила здорового способу життя. Завершальна станція може містити завдання командного характеру.

ІКТ можуть використовуватися і для організації онлайн-челенджів. Учитель може запропонувати учням протягом тижня виконувати короткі комплекси вправ, ранкову руханку або інші види активності. Результати можуть фіксуватися в електронному щоденнику чи спільній цифровій платформі. Важливо, щоб участь була добровільною або організованою з урахуванням освітньої мети, а завдання відповідали віку та фізичним можливостям школярів.

Цифрові технології також дозволяють урізноманітнювати комунікацію між учителем та учнями. Учитель може створювати електронні матеріали з комплексами вправ, короткими рекомендаціями щодо фізичної активності, відеоінструкціями та завданнями для самостійної роботи. Це особливо актуально для організації рухової активності за межами школи.

Разом із перевагами ІКТ мають певні обмеження. Надмірне використання смартфонів може суперечити самій меті фізичного виховання, якщо дитина більшу частину часу проводить із пристроєм замість руху. Тому цифрові технології повинні бути інструментом для організації активності, а не її заміною. Оптимально, коли смартфон використовується кілька хвилин для отримання завдання, фіксації результату або аналізу, після чого учні переходять безпосередньо до рухової діяльності.

Отже, інформаційно-комунікаційні технології створюють широкі можливості для модернізації позакласної фізкультурної роботи. Їх правильне використання сприяє підвищенню мотивації, розвитку навичок самоконтролю, урізноманітненню форм занять та активному залученню школярів до фізичної діяльності.

Сучасні фітнес-технології та інтерактивні методи організації рухової активності учнів. Сучасний фітнес є одним із найбільш перспективних напрямів модернізації фізкультурно-оздоровчої діяльності школярів. Його популярність пов’язана з великою різноманітністю вправ, доступністю та можливістю адаптувати навантаження до віку й фізичної підготовленості учнів. На відміну від традиційного спортивного тренування, фітнес часто має більш вільну та різноманітну структуру, що дозволяє поєднувати фізичні вправи з музикою, ігровими елементами, цифровими технологіями та командною взаємодією.

До сучасних фітнес-технологій, які можуть використовуватися в позакласній роботі, належать аеробіка, степ-аеробіка, фітбол-гімнастика, функціональний тренінг, стрейчинг, танцювальні програми, вправи з власною масою тіла, елементи йоги та інтервальні комплекси помірної інтенсивності (Рис 2, 3.).

Аеробіка може бути використана як засіб розвитку загальної витривалості, координації та ритмічності рухів. Виконання вправ під музичний супровід створює позитивний емоційний фон і сприяє підвищенню зацікавленості учнів. Для школярів доцільно використовувати прості рухові комбінації, які поступово ускладнюються.



Рис 2, 3. Використання фітнес-технологій у позакласній роботі учнів.

Цікавим варіантом є степ-аеробіка, яка передбачає виконання вправ із використанням спеціальної платформи. У шкільних умовах необхідно особливо уважно ставитися до безпеки, висоти платформи та відповідності вправ віку дітей. Якщо спеціального обладнання немає, окремі елементи можна адаптувати до умов спортивної зали, використовуючи інші безпечні засоби.

Фітбол-гімнастика також може ефективно використовуватися в позакласній роботі. Вправи з великим гімнастичним м'ячем дозволяють розвивати координацію, гнучкість, силу м'язів тулуба та рівновагу. Крім того, нестандартне обладнання саме по собі підвищує інтерес учнів до занять.

Окремої уваги заслуговує функціональний тренінг. Його можна організувати у формі кругового тренування, під час якого учні послідовно переходять від однієї станції до іншої. На кожній станції виконується певна вправа: присідання, випади, планка, стрибки, вправи для м'язів тулуба, координаційні вправи тощо. Навантаження може регулюватися за допомогою тривалості виконання, кількості повторень або часу відпочинку.

Для школярів доцільно використовувати інтервальні формати тренування, проте вони повинні бути адаптовані до віку та фізичних можливостей. Наприклад, можна застосовувати короткі відрізки роботи по 20–30 секунд із достатнім відпочинком. Метою при цьому не повинно бути досягнення максимальної інтенсивності. Основним завданням є формування позитивного ставлення до рухової активності та поступовий розвиток фізичних якостей.

Досить популярним форматом є Tabata, однак у роботі зі школярами класичний формат необхідно адаптувати. Замість максимально інтенсивного навантаження доцільніше використовувати помірні вправи з власною масою тіла та збільшувати тривалість відпочинку. Такий підхід дозволяє зберегти ігрову та сучасну форму технології без створення надмірного навантаження.

Важливе місце посідають танцювально-рухові технології. Танці, ритмічні вправи та сучасні рухові композиції можуть бути особливо ефективними для учнів, які не цікавляться традиційними видами спорту. Під час танцювальної

активності одночасно розвиваються координація, витривалість, ритмічність та рухова пам'ять. Крім того, групове виконання танцювальних композицій сприяє соціальній взаємодії.

Ще одним сучасним напрямом є інтерактивні рухливі ігри. Вони можуть передбачати використання музики, проєктора, цифрових завдань або спеціальних програм. На екрані може демонструватися певний рух, який учні повинні повторити. Інший варіант «руховий світлофор», коли зелений сигнал означає біг, жовтий – ходьбу, а червоний – зупинку та виконання певної вправи.

Ефективним методом є робота за інтерактивними станціями. Спортивний зал або майданчик умовно поділяється на декілька зон. На кожній станції учні виконують окреме завдання. Після певного часу групи змінюють станції. Одна станція може бути спрямована на розвиток сили, друга на розвиток швидкості, третя на розвиток координації, четверта на розвиток гнучкості, а п'ята на розвиток витривалості.

Цікавою формою є фітнес-квест. У ньому поєднуються елементи фітнесу, гри, командної взаємодії та пошуку. Команди отримують маршрут, на кожній станції виконують певну фізичну вправу або комплекс вправ і після цього отримують наступну підказку. Такий формат дозволяє залучити навіть тих учнів, які не виявляють великого інтересу до традиційних спортивних змагань.

Інтерактивні технології можуть використовуватися і під час активних перерв. Замість того щоб учні проводили всю перерву сидячи, їм можна запропонувати короткі комплекси вправ, рухливі ігри, танцювальні хвилинки або координаційні завдання. Такі заходи не потребують значного часу, але сприяють зниженню статичної напруги після тривалого навчання.

Особливо важливою умовою сучасної позакласної роботи є емоційна привабливість діяльності. Учень повинен отримувати позитивні емоції від руху. Саме тому музика, командні завдання, квести, фітнес, танці, цифрові технології та нестандартне обладнання можуть бути ефективними засобами мотивації.

При цьому педагог повинен дотримуватися принципу доступності. Не можна орієнтувати всю групу лише на фізично підготовлених учнів. Кожна вправа має передбачати можливість спрощення або ускладнення. Одним із варіантів може бути наступний, замість стрибків можна запропонувати кроки, замість тривалої планки запропонувати коротше утримання положення, а кількість повторень можна змінювати залежно від можливостей учня.

Таким чином, сучасні фітнес-технології та інтерактивні методи дозволяють зробити позакласну фізкультурно-оздоровчу діяльність більш різноманітною, динамічною та цікавою. Їх використання сприяє підвищенню рухової активності учнів, розвитку фізичних якостей, формуванню навичок самоконтролю та позитивного ставлення до фізичної культури.

Висновок. Отже, сучасна позакласна робота з фізичної культури повинна відповідати потребам та інтересам сучасних школярів. Використання інноваційних педагогічних технологій, інформаційно-комунікаційних засобів,

сучасних фітнес-програм та інтерактивних форм діяльності дозволяє суттєво розширити можливості фізичного виховання.

Основним результатом використання інновацій має бути не просто урізноманітнення занять, а формування в учнів стійкої потреби у регулярній руховій активності та відповідального ставлення до власного здоров'я. Сучасні технології мають допомагати дитині полюбити рух, навчитися самостійно організовувати свою фізичну активність і переносити сформовані навички у повсякденне життя.

Література:

1. Інноваційні технології фізичного виховання і спорту: навчальний посібник / укладач: О. В. Юденко. Київ: Національний університет оборони України, 2024. 360 с.
2. Качан О. А., Пристинський В. М. Концепція «Спорт заради розвитку» у фізкультурно-оздоровчій і спортивно-масовій роботі закладів загальної середньої освіти : монографія. Слов'янськ : Вид-во Б. І. Маторіна, 2022. 162 с.
3. Курок О.І., Цись Д.І., Хлус Н.О. Інтеграція оздоровчої фізичної культури в систему позакласної роботи як засіб підвищення фізичної підготовленості учнів. «*Наука і техніка сьогодні» (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»)»:* журнал. 2026. № 4(58) 2026. С. 1694-1706. DOI:https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4(58)-1694-1705
4. Курок О.І., Цись Д.І., Хлус Н.О. Ефективність використання засобів оздоровчої фізичної культури у позакласній роботі з учнями. Суспільство та національні інтереси: журнал. 2026. № 6(26) 2026. С. 639-650 https://doi.org/10.52058/3041-1572-2026-6(26)-639-650
5. Курок О.І., Хлус Н.О., Цись Д.І. Використання інноваційних технологій в організації позакласної фізкультурно-оздоровчої роботи учнів. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2026, № 21 (40) року. С. 57-70. https://doi.org/10.31652/2071-5285-2026-21(40)-57-69
6. Лекційний курс з дисципліни «Організація і проведення спортивно масових заходів» / укладачі: Т. В. Кафтанова, Д. Р. Опанчук, Н. М. Цимбалюк. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. 52 с. URL: https://eprints.zu.edu.ua/41332/
7. Момот О. Педагогіка фізкультурно-спортивної діяльності : навчально-метододичний посібник. Полтава : Астрая, 2023. 104 с.
8. Онищук С.О. Підготовка майбутніх вчителів фізичної культури до спортивно-масової роботи в ЗЗСО : дис. ... канд. пед. наук : спец. 13.00.04 «Теорія і методика професійної освіти». Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», МОН України. Одеса, 2021. 258 с.
9. Організація спортивно-масової роботи: методичні вказівки / уклад.: Канішевський С. М., Дубина Н. Р., Россипчук І. О. Київ: КНУБА-Талком, 2023. 30 с. URL: https://repositary.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d485a57e-3480-4724-b706-5e5609c7ef11/content.

10. Товт В.А. Організація масових спортивних заходів і показових виступів: навчальний посібник / укладачі В.А. Товт, Н.В Семаль, Е.М. Сивохоп. Ужгород: ТОВ «РІКУ», 2023. 142 с.

3.7. Cognitive Activity of Primary School Pupils in the Contemporary Educational Process: Essence, Structure and Conditions for its Development

ПІЗНАВАЛЬНА АКТИВНІСТЬ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ У СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: СУТНІСТЬ, СТРУКТУРА ТА УМОВИ РОЗВИТКУ

Трансформаційні процеси, що відбуваються в сучасній українській освіті, зумовлюють переосмислення цілей і способів організації навчання дітей молодшого шкільного віку. Сьогодні результативність освітнього процесу визначається не стільки обсягом засвоєної учнем інформації, скільки його здатністю самостійно здобувати знання, аналізувати інформацію, встановлювати взаємозв'язки, знаходити способи розв'язання проблем і застосовувати набуті знання у практичних ситуаціях [8; 10; 16]. За таких умов особливого значення набуває формування активної позиції дитини як суб'єкта навчання. Відповідно до Закону України «Про освіту», одним із провідних орієнтирів функціонування освітньої системи є всебічний розвиток особистості, її здібностей, самостійності, відповідальності та інших якостей, необхідних для успішної життєдіяльності [10]. Такий підхід передбачає створення в освітньому процесі умов, за яких дитина не залишається пасивним споживачем готової інформації, а залучається до її пошуку, осмислення, оцінювання та практичного використання [16].

Важливі орієнтири щодо організації такого навчання визначає концепція Нової української школи. Її положення передбачають переорієнтацію початкової освіти на компетентнісний результат, активну взаємодію учасників освітнього процесу, розвиток критичного й творчого мислення, самостійності, ініціативності та здатності навчатися впродовж життя [16]. Відповідні орієнтири закріплено і в Державному стандарті початкової освіти, який визначає компетентнісний, діяльнісний та особистісно орієнтований підходи як важливі засади організації освітнього процесу. Їх реалізація передбачає залучення учнів до різноманітних видів діяльності, формування здатності досліджувати, ставити запитання, висувати припущення, аналізувати результати та використовувати знання для розв'язання практичних завдань [8]. У цьому контексті розвиток пізнавальної активності постає не як окреме завдання вчителя, а як важлива складова становлення компетентної особистості молодшого школяра.

Особливого значення ця проблема набуває саме на етапі початкової освіти, оскільки молодший шкільний вік є періодом інтенсивного розвитку пізнавальних процесів, становлення навчальної мотивації та поступового переходу дитини до більш усвідомленої й самостійної організації власної діяльності [9; 18]. Саме в цей період формуються первинні способи навчальної роботи, ставлення до знань і навчання, здатність долати труднощі та контролювати результати власної діяльності. Важливим внутрішнім ресурсом цього процесу є пізнавальний інтерес,

який спонукає дитину звертатися до нового матеріалу, ставити запитання, прагнути отримати пояснення незрозумілого та перевіряти власні припущення [3; 4]. За наявності стійкого інтересу навчальна діяльність набуває для учня особистісного значення, а засвоєння знань перестає бути виключно результатом зовнішньої вимоги.

Сучасна початкова школа характеризується також посиленням інтеграційних процесів. Поєднання змісту різних освітніх галузей, зокрема в межах інтегрованого курсу «Я досліджую світ», створює можливості для організації спостережень, досліджень, експериментування, моделювання та розв'язання практичних проблем [12; 13]. Така організація навчання сприяє переходу від відтворення готових відомостей до активного конструювання учнями власного розуміння явищ і процесів. Водночас освітня практика засвідчує, що поряд із діяльнісними та інтерактивними формами навчання продовжують використовуватися способи роботи, зорієнтовані переважно на відтворення інформації. Їх домінування може обмежувати можливості для прояву учнями ініціативи та самостійності. У зв'язку з цим актуалізується пошук педагогічних засобів, що забезпечують активне залучення молодших школярів до пізнавальної діяльності, зокрема інтерактивних технологій, дидактичних ігор, проблемних ситуацій, дослідницьких завдань, навчальних проєктів, парної та групової роботи [2; 13; 14; 17].

Отже, проблема розвитку пізнавальної активності молодших школярів є важливою складовою модернізації початкової освіти та потребує подальшого теоретичного узагальнення й методичного конкретизування.

Проблема активізації навчально-пізнавальної діяльності дітей посідає помітне місце у вітчизняних психолого-педагогічних дослідженнях. Науковий доробок Н. Бібік, С. Божук, Л. Дубровської, І. Мозуль та інших дослідників дає змогу розглядати пізнавальну активність як складне особистісне утворення, що формується у процесі навчання та виявляється через поєднання мотиваційних, емоційних, вольових і діяльнісних характеристик [3; 4; 9; 13]. У дослідженнях Н. Бібік, С. Божук, Т. Голубенко висвітлюються вікові передумови розвитку пізнавальної активності учнів початкової школи, становлення їхньої навчальної мотивації та значення пізнавального інтересу в організації навчальної діяльності [3; 4]. Положення цих праць дають підстави вважати, що активність дитини значною мірою залежить від відповідності змісту й способів навчання її пізнавальним потребам та наявності можливостей для самостійної діяльності.

Вагомий напрям досліджень становлять праці, присвячені активізації навчання на основі проблемного, діяльнісного та інтерактивного підходів. У роботах Т. Голубенко, Н. Максимчук, І. Мозуль, Л. Ярченко акцентовано увагу на значенні проблемних завдань, навчального діалогу, дослідницької та проєктної діяльності у формуванні самостійності, критичного мислення та пізнавального інтересу учнів [5; 12; 13; 14]. Теоретичні й методичні можливості інтерактивного навчання розкрито, зокрема, у працях О. Пометун і Л. Пироженко. Інтерактивний формат передбачає активну взаємодію учасників освітнього процесу, створюючи

умови для обміну думками, аргументування власної позиції, спільного пошуку рішень і розвитку комунікативних умінь [17]. Окрему групу становлять праці Н. Бібік, К. Карпенко та Н. Мирончук, у яких розглядається дидактична гра як засіб організації навчальної діяльності молодших школярів [2; 11]. Її педагогічна цінність пов'язана з можливістю поєднання навчального завдання з емоційно привабливою для дитини формою діяльності.

Попри значну кількість наукових праць, питання розвитку пізнавальної активності молодших школярів потребує подальшого опрацювання з огляду на зміни змісту початкової освіти, поширення інтегрованого навчання, цифровізацію освітнього середовища та необхідність посилення суб'єктної позиції учня [8; 12; 16]. Особливої уваги потребує системне поєднання інтерактивних, ігрових, дослідницьких і проєктних способів навчання як взаємопов'язаних засобів розвитку пізнавальної активності.

Поняття «пізнавальна активність» належить до категорій, що посідають важливе місце в сучасній психології, педагогіці та дидактиці. Його зміст розкривається через взаємозв'язок активності особистості, процесів пізнання та характеру її діяльності [6; 15; 19]. Відповідно, пізнавальна активність не обмежується зовнішніми проявами поведінки учня під час навчання, а охоплює його внутрішню готовність до пізнання, ставлення до навчальної діяльності, прагнення самостійно діяти та досягати поставленої мети [3; 9]. У психологічному аспекті активність розглядається як динамічна характеристика взаємодії особистості з навколишнім світом, що виявляється у здатності не лише реагувати на зовнішні впливи, а й самостійно ініціювати діяльність [19]. Педагогічне трактування поняття пов'язує активність із діяльністю, енергійністю та ініціативністю і протиставляє її пасивному ставленню до певного виду діяльності [6].

У структурі навчальної діяльності активність набуває специфічного змісту, оскільки пов'язується насамперед із характером ставлення учня до пізнання. Учень може виконувати навчальне завдання, дотримуючись інструкцій учителя, проте така поведінка ще не свідчить про сформованість власне пізнавальної активності. Її суттєвими ознаками є внутрішня спрямованість на пізнання, прагнення зрозуміти навчальний матеріал, встановити причинно-наслідкові зв'язки, поставити запитання, знайти відповідь або перевірити правильність власного припущення [3; 9; 13]. У цьому контексті пізнавальну активність доцільно розглядати як якісну характеристику навчально-пізнавальної діяльності, що визначає міру самостійності, зацікавленості, ініціативності та цілеспрямованості учня у процесі здобуття й використання знань. Її прояви можуть варіювати від готовності уважно сприймати нову інформацію та виконувати навчальні дії до самостійного формулювання проблеми, пошуку способів її розв'язання, висунення припущень і творчого застосування набутих знань [13; 18].

Аналіз наукових підходів Н. Бібік, Л. Дубровської, В. Пісоцького та інших дослідників дає підстави характеризувати пізнавальну активність як складне

інтегративне утворення, у якому поєднуються мотиваційні, емоційні, вольові та діяльнісні характеристики особистості [3; 9]. Такий підхід відрізняє її від ситуативної активності, яка може виникати внаслідок зовнішньої стимуляції й знижуватися після припинення відповідного впливу. Для молодшого школяра особливого значення набуває поступове перетворення зовнішньо організованої навчальної діяльності на діяльність, у якій зростає частка власної ініціативи дитини. На початкових етапах навчання активність значною мірою забезпечується педагогічним керівництвом: учитель визначає мету, пропонує завдання, задає алгоритм виконання та підтримує увагу учнів. У міру розвитку пізнавальної самостійності дитина починає активніше визначати послідовність власних дій, обирати способи виконання завдання, ставити запитання та оцінювати отримані результати [9; 18]. Отже, важливою характеристикою пізнавальної активності є поступовий перехід від виконання заданих дій до самостійного ініціювання та регуляції пізнавальної діяльності.

Важливим критерієм пізнавальної активності є характер взаємодії школяра з навчальним змістом. Пасивне засвоєння передбачає переважно сприймання та відтворення готової інформації, тоді як активне пізнання охоплює її осмислення, порівняння, систематизацію, інтерпретацію, практичне використання та перенесення в нові ситуації [18]. Саме тому розвиток пізнавальної активності безпосередньо пов’язаний із поступовим ускладненням пізнавальних дій. У початковій школі це може реалізовуватися через проблемні запитання, пошукові вправи, спостереження, дослідження, експериментування, моделювання, практичні завдання, навчальні ігри та проєкти, які дають дитині можливість не лише засвоїти готовий спосіб дії, а й виявити власну пізнавальну ініціативу [2; 13; 14].

Водночас пізнавальна активність не є сталою властивістю, рівень якої однаковий у різних навчальних ситуаціях. Її прояв залежить від змісту та складності завдання, способу організації діяльності, емоційного стану дитини, характеру взаємодії з учителем і однокласниками, а також від наявності особистісно значущої мотивації [3; 4; 9]. Тому одним із ключових завдань педагога є створення умов, за яких внутрішня зацікавленість дитини поступово стає основою її навчальної поведінки. З огляду на це пізнавальна активність тісно пов’язана з навчальною мотивацією: якщо учень розуміє значущість завдання, відчуває інтерес до його виконання та бачить можливість досягти результату, він охочіше включається в діяльність і виявляє більшу наполегливість [3; 4]. Натомість переважання зовнішнього примусу може забезпечити виконання окремого завдання, але не гарантує формування стійкої потреби в пізнанні.

Особливо важливим є усвідомлення учнем власного пізнавального результату. Розуміння того, що самостійний пошук привів до відкриття, правильного рішення або нового пояснення явища, сприяє формуванню впевненості у власних можливостях і готовності до подальшого виконання складніших пізнавальних завдань [9; 13]. Тому пізнавальну активність молодшого школяра не можна ототожнювати лише з інтенсивністю його роботи на уроці. Її

сутність полягає передусім у характері внутрішньої позиції дитини щодо процесу пізнання: активний учень не просто реагує на запропоноване завдання, а прагне зрозуміти його, шукає способи виконання, ставить запитання, робить припущення, перевіряє результати та використовує набуті знання в нових умовах.

На підставі узагальнення теоретичних підходів пізнавальну активність молодшого школяра пропонуємо розглядати як інтегровану особистісну характеристику, що виявляється у стійкій спрямованості на пізнання, позитивному ставленні до навчання, внутрішній готовності до активної діяльності, самостійному пошуку способів розв'язання пізнавальних завдань, подоланні труднощів і рефлексивному осмисленні отриманих результатів. Таке розуміння дозволяє розглядати пізнавальну активність не як окремий методичний результат застосування певних прийомів навчання, а як динамічне особистісне утворення, розвиток якого забезпечується взаємодією мотиваційних, емоційно-вольових, діяльнісних і рефлексивних складових. Відповідно, завдання початкової школи полягає не лише в активізації учня під час окремого уроку, а й у створенні передумов для поступового формування його стійкої пізнавальної позиції.

Пізнавальна активність молодшого школяра формується і виявляється безпосередньо в навчально-пізнавальній діяльності, однак ці поняття не є тотожними. Діяльність характеризує передусім процес і спосіб взаємодії учня з навчальним змістом, тоді як активність відображає міру його залученості, самостійності, ініціативності та внутрішньої спрямованості в цьому процесі [15; 18]. Відтак одна й та сама навчальна діяльність може здійснюватися на різних рівнях пізнавальної активності. Якщо школяр переважно відтворює запропонований учителем алгоритм, його участь має репродуктивний характер. Якщо ж він самостійно визначає спосіб розв'язання, порівнює різні варіанти, висуває припущення, знаходить необхідну інформацію або переносить засвоєний спосіб дії в нову ситуацію, навчальна діяльність набуває продуктивнішого характеру та свідчить про вищий рівень пізнавальної активності [13; 18].

У цьому контексті принципового значення набуває пізнавальний інтерес як важливе внутрішнє джерело активності школяра. Зацікавленість змістом навчання спонукає дитину ставити запитання, прагнути отримати додаткову інформацію, виявляти ініціативу та долати труднощі [3; 4; 9]. Його педагогічна цінність полягає не лише в емоційному захопленні певним предметом або видом діяльності, а в поступовому перетворенні ситуативної зацікавленості на стійку внутрішню потребу в пізнанні. Особливості молодшого шкільного віку створюють для цього сприятливі передумови: діти виявляють цікавість до нового, прагнуть пояснити незрозуміле, охоче спостерігають, експериментують, ставлять запитання та включаються в ігрові й дослідницькі ситуації [2; 9]. Проте природна допитливість сама по собі не гарантує стійкої пізнавальної активності, тому завдання педагога полягає в її цілеспрямованій підтримці та переведенні в більш усвідомлений інтерес до змісту навчання [3; 4].

Водночас між пізнавальним інтересом і активністю існує взаємний, а не односторонній зв'язок. Інтерес стимулює включення дитини в діяльність, тоді як активна участь у пошуку, дослідженні та розв'язанні пізнавальних завдань може породжувати й поглиблювати новий інтерес [3; 4; 13]. Особливо це виявляється тоді, коли дитина отримує можливість самостійно досягти результату й усвідомити власний поступ. У цьому сенсі взаємозв'язок можна умовно представити як динамічну модель: пізнавальний інтерес → внутрішня мотивація → пізнавальна активність → навчально-пізнавальна діяльність → результат → рефлексія → посилення пізнавального інтересу. Водночас така послідовність не є жорсткою лінійною схемою, оскільки її елементи постійно взаємодіють і взаємно підсилюють один одного.

Особливе значення для розвитку пізнавальної активності має суб'єктна позиція учня. Сучасне компетентнісне навчання передбачає поступове залучення школяра не лише до виконання визначених учителем дій, а й до визначення мети, вибору способів діяльності, пошуку інформації, перевірки припущень та оцінювання результатів [8; 16]. Відповідно, важливим чинником розвитку активності є характер навчальних завдань. Завдання, що передбачає лише відтворення зразка за єдиним алгоритмом, створює обмежені можливості для пізнавальної ініціативи. Натомість проблемні, дослідницькі та практико-орієнтовані завдання спонукають учня до аналізу, пошуку, порівняння та прийняття рішення [12; 13; 14]. Саме тому в початковій школі важливо поступово переводити дитину від виконання запропонованих дій до їх самостійного планування, вибору способу розв'язання, формулювання запитань, перевірки результатів та оцінювання власної діяльності.

У цьому аспекті доцільно розмежовувати активність як характеристику діяльності та активність як особистісну характеристику. У першому випадку йдеться переважно про інтенсивність виконання навчальних дій: учень працює, відповідає, виконує вправи, бере участь в обговоренні. У другому – про його внутрішню готовність вступати в пізнавальну взаємодію, виявляти ініціативу, ставити цілі, долати труднощі та оцінювати результати [6; 15; 19]. Для сучасної початкової освіти принциповим є саме особистісний вимір, оскільки він пов'язаний із формуванням здатності дитини до самостійного навчання. Отже, пізнавальний інтерес, пізнавальна активність і навчально-пізнавальна діяльність утворюють взаємопов'язану систему: інтерес забезпечує внутрішню спрямованість на пізнання, активність характеризує міру та якість включення школяра в цей процес, а навчально-пізнавальна діяльність є простором практичної реалізації активності. Результати діяльності, своєю чергою, можуть підтримувати й поглиблювати подальший інтерес до пізнання.

Для повнішого розкриття феномена пізнавальної активності необхідно визначити теоретико-методологічні засади та її внутрішню структуру. Важливе місце серед методологічних орієнтирів посідає діяльнісний підхід, відповідно до якого розвиток особистості відбувається в діяльності та через діяльність [15; 18]. У контексті початкової освіти це означає, що пізнавальна активність не може бути

сформована виключно шляхом передавання дитині готових знань. Вона розвивається тоді, коли школяр отримує можливість діяти з навчальним матеріалом, досліджувати його, ставити запитання, здійснювати пошук, робити висновки та застосовувати здобуті результати [12; 13]. Реалізація діяльнісного підходу зумовлює зміну характеру взаємодії між учителем і учнем: педагог виступає не лише джерелом інформації, а організатором освітнього середовища та координатором пізнавальної діяльності, тоді як учень набуває статусу її активного суб'єкта [8; 16]. Така позиція відповідає компетентнісній спрямованості початкової освіти, у якій важливим результатом є не стільки обсяг засвоєної інформації, скільки здатність дитини використовувати знання для розв'язання навчальних і життєвих ситуацій.

Пізнавальна активність у діяльнісному вимірі виявляється через поступове ускладнення характеру навчальних дій. Початковий рівень передбачає переважно сприймання, запам'ятовування та відтворення інформації; наступний пов'язаний із поясненням, порівнянням, класифікацією, встановленням зв'язків і застосуванням знань у типових ситуаціях; вищий – з аналізом проблеми, самостійним пошуком способів її розв'язання, оцінюванням різних варіантів і творчим використанням набутого досвіду [13; 18]. Отже, пізнавальна активність має не лише кількісний, а передусім якісний вимір: важливо не тільки те, наскільки інтенсивно дитина працює, а й те, як саме вона здійснює пізнавальні дії, наскільки самостійно приймає рішення та якою мірою здатна регулювати й осмислювати власну діяльність.

З огляду на це пізнавальну активність доцільно трактувати як структурно складне утворення, компоненти якого перебувають у взаємозалежності. Узагальнення теоретичних положень дає підстави виокремити п'ять взаємопов'язаних компонентів: мотиваційний, емоційно-ціннісний, вольовий, діяльнісний та результативно-рефлексивний.

Мотиваційний компонент визначає спрямованість школяра на пізнавальну діяльність та його внутрішню готовність включатися в навчання. Його основу становлять пізнавальний інтерес, прагнення дізнатися нове, бажання зрозуміти сутність явища, потреба у вирішенні пізнавальної проблеми [3; 4; 9]. Для молодшого школяра характерним є поступовий перехід від переважання зовнішніх мотивів до більш внутрішньо зумовленої мотивації. Якщо на початку навчання дитина може працювати переважно заради схвалення вчителя, оцінки чи винагороди, то розвиток пізнавальної активності передбачає формування іншої мотиваційної основи – задоволення від самого процесу пізнання та усвідомлення власного результату [3; 4]. Показниками розвитку цього компонента можуть бути інтерес до навчального завдання, прагнення отримати додаткову інформацію, готовність ставити запитання, ініціативність і бажання продовжувати діяльність після виконання обов'язкової частини завдання.

Емоційно-ціннісний компонент відображає ставлення дитини до навчання, пізнання, власних можливостей та результатів діяльності. Пізнання молодшого школяра тісно пов'язане з емоційним досвідом, тому пізнавальна активність

передбачає не лише бажання діяти, а й позитивне ставлення до процесу навчання, відчуття значущості отриманих знань та емоційне прийняття самого процесу пошуку. Його розвиток передбачає формування впевненості у власних силах, готовності сприймати помилку як складову навчання та здатності переживати задоволення від самостійно отриманого результату. Для початкової школи це особливо важливо, оскільки негативний досвід невдач може знижувати готовність дитини до складніших пізнавальних завдань. Натомість атмосфера психологічної безпеки та підтримки створює умови для експериментування, висловлення припущень і прийняття помилки як природної складової пізнавального пошуку [4; 9].

Вольовий компонент пов'язаний із здатністю дитини підтримувати власну діяльність у ситуації труднощів і передбачає цілеспрямованість, наполегливість, самоконтроль, здатність долати перешкоди та доводити розпочату справу до завершення. У процесі навчання дитина не завжди отримує результат одразу: пошукове або дослідницьке завдання може потребувати кількох спроб, додаткової інформації чи зміни початкового способу дії. У таких ситуаціях пізнавальна активність визначається не лише інтересом, а й здатністю зберігати спрямованість на мету попри труднощі. Розвиток цього компонента забезпечується поступовим формуванням умінь планувати власні дії, контролювати їх виконання, коригувати помилки та оцінювати просування до мети [15; 18].

Діяльнісний компонент є безпосереднім проявом пізнавальної активності та характеризує реальні дії школяра, спрямовані на здобуття, осмислення й використання знань. Його проявами є вміння спостерігати, порівнювати, аналізувати, класифікувати, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, працювати з інформацією, висувати припущення, перевіряти їх, знаходити способи розв'язання проблеми та застосовувати знання в нових ситуаціях [12; 13; 18]. Важливою характеристикою цього компонента є самостійність виконання пізнавальних дій, тому його не можна зводити до активної участі учня в роботі класу. Учень може регулярно відповідати на запитання вчителя, однак залишатися залежним від зовнішнього керівництва. Вищий ступінь пізнавальної активності виявляється тоді, коли дитина самостійно визначає, яку інформацію їй необхідно отримати, де її шукати та як перевірити правильність власного висновку [13].

Результативно-рефлексивний компонент забезпечує усвідомлення школярем результатів власної діяльності та їх співвіднесення з поставленою метою. Рефлексія передбачає здатність дитини відповісти на запитання: що я хотів дізнатися? що мені вдалося? що було складним? як я розв'язував завдання? де виникла помилка? що я можу зробити інакше наступного разу? Для молодшого школяра такі рефлексивні дії мають поступово ставати природною частиною навчальної діяльності. Їх значення полягає не лише в оцінюванні вже отриманого результату, а й в усвідомленні власного поступу та зв'язку між докладеними зусиллями і результатом, що створює підґрунтя для подальшої мотивації [18].

Виокремлені компоненти не функціонують ізольовано, а утворюють цілісну динамічну систему, у якій зміни одного елемента впливають на інші. Пізнавальний інтерес стимулює включення дитини в діяльність; позитивне емоційне ставлення підтримує готовність діяти; вольові зусилля забезпечують подолання труднощів; діяльнісний компонент реалізує пізнавальні дії; рефлексія дає змогу оцінити результат і на цій основі сформувати нову мотивацію. Цю взаємодію можна представити як умовну структурно-динамічну модель: мотивація → емоційне прийняття діяльності → вольове зусилля → пізнавальна діяльність → результат → рефлексія → оновлення мотивації. Водночас зазначена послідовність не означає жорсткої черговості компонентів: у реальному освітньому процесі вони взаємодіють одночасно та можуть взаємно підсилювати один одного. Наприклад, успішне виконання складного завдання здатне не лише забезпечити позитивний результат, а й підвищити впевненість учня у власних можливостях, посилити його позитивне ставлення до навчання та сформувати готовність виконувати складніші завдання.

Таким чином, структура пізнавальної активності молодшого школяра має комплексний характер, а її розвиток передбачає одночасний вплив на мотиваційну сферу, емоційне ставлення до пізнання, вольову регуляцію, практичну реалізацію пізнавальних дій та здатність до рефлексії. Саме цілісність цих складових забезпечує перехід дитини від ситуативної активності до більш стійкої та самостійної пізнавальної позиції.

Здійснений теоретичний аналіз дає підстави стверджувати, що пізнавальна активність молодшого школяра має динамічний характер і може виявлятися з різною мірою самостійності, усвідомленості та продуктивності. Тому її доцільно розглядати не як наявну або відсутню характеристику, а як якісно неоднорідне утворення, що розвивається від виконання запропонованих дій до самостійної та творчої пізнавальної діяльності [13]. З урахуванням характеру мотивації, ступеня самостійності, складності пізнавальних дій, здатності долати труднощі та здійснювати рефлексію можна умовно виокремити три рівні пізнавальної активності молодших школярів: відтворювальний, інтерпретаційний і творчий.

Відтворювальний рівень характеризується переважанням зовнішньої регуляції навчальної діяльності. Учень загалом приймає навчальне завдання, але потребує стимулювання, пояснення або контролю з боку педагога, а його пізнавальна діяльність переважно спрямована на засвоєння та відтворення відомого способу дії. Такі учні можуть правильно виконувати завдання за зразком або алгоритмом, відповідати на репродуктивні запитання, відтворювати визначення, правила чи послідовність дій. Водночас виникнення труднощів часто призводить до очікування допомоги вчителя, а власні запитання та пізнавальна ініціатива проявляються епізодично. Мотивація на цьому рівні значною мірою може бути пов’язана із зовнішнім схваленням, оцінюванням або бажанням виконати вимогу дорослого, тоді як інтерес до навчання має переважно ситуативний характер. Отже, відтворювальний рівень є не пасивністю як такою, а

початковою формою пізнавальної активності, для якої характерна залежність від зовнішнього педагогічного керівництва.

Інтерпретаційний рівень передбачає більшу самостійність і свідомість у виконанні пізнавальних дій. Учень не обмежується відтворенням готового способу, а прагне зрозуміти сутність навчального матеріалу, встановити зв'язки між фактами та пояснити отриманий результат. На цьому рівні дитина здатна порівнювати об'єкти та явища, класифікувати їх за визначеними ознаками, встановлювати прості причинно-наслідкові зв'язки, застосовувати набуті знання у змінених умовах. Вона частіше ставить запитання, виявляє інтерес до додаткової інформації та може самостійно виконувати частину пошукових дій. Водночас у складніших ситуаціях дитина ще може потребувати педагогічної підтримки, підказки чи організаційної допомоги.

Творчий рівень характеризується високим ступенем самостійності, ініціативності та внутрішньої мотивації. Учень активно включається в пізнавальну діяльність, самостійно формулює запитання, визначає проблему, висуває припущення, шукає різні способи її розв'язання та обґрунтовує отримані результати. На цьому рівні дитина здатна використовувати знання не лише в типових, а й у нових ситуаціях, комбінувати відомі способи дій, знаходити нестандартні рішення, здійснювати елементарне дослідження та оцінювати різні варіанти відповіді. Пізнавальна активність набуває стійкого характеру: школяр демонструє потребу в самостійному пізнанні, виявляє наполегливість у подоланні труднощів і здатний продовжувати пошукову діяльність без безпосереднього контролю педагога. Важливим показником творчого рівня є також розвинена рефлексивність: учень може пояснити, як саме він отримав результат, які способи виявилися ефективними, де виникли труднощі та що можна вдосконалити.

Таким чином, розвиток пізнавальної активності можна розглядати як поступовий рух від зовнішньо керованого виконання навчальних дій до самостійної, продуктивної та творчої діяльності. При цьому перехід між рівнями не є механічним або одномоментним і залежить від змісту навчання, характеру завдань, досвіду дитини, її мотивації, емоційного стану та способу організації освітнього середовища [4; 13]. Тому педагогічна підтримка має бути спрямована не лише на збільшення кількості навчальних дій, які виконує дитина, а передусім на поступове розширення простору її самостійності: від завдань за готовим зразком до завдань із частково заданим способом виконання, а надалі – до проблемних, дослідницьких і творчих ситуацій [13; 14]. Саме така логіка створює передумови для переходу від одного рівня пізнавальної активності до іншого та визначає необхідність спеціально організованих педагогічних умов її розвитку.

На основі узагальнення теоретичних положень визначено п'ять взаємопов'язаних педагогічних умов розвитку пізнавальної активності молодших школярів: забезпечення суб'єктної позиції учня; створення емоційно сприятливого освітнього середовища; систематичне використання проблемних і практико-орієнтованих завдань; залучення до дослідницької та проєктної

діяльності; цілеспрямоване застосування інтерактивних та ігрових технологій навчання.

Забезпечення суб'єктної позиції молодшого школяра передбачає організацію навчання на засадах суб'єкт-суб'єктної взаємодії, за якої дитина сприймається не як пасивний об'єкт педагогічного впливу, а як активний учасник освітнього процесу [16]. Суб'єктна позиція виявляється в тому, що учень поступово отримує можливість брати участь у визначенні мети діяльності, виборі способів її досягнення, формулюванні запитань, пошуку необхідної інформації, перевірці отриманих результатів та їх оцінюванні [8; 16]. Практична реалізація цієї умови передбачає використання завдань із можливістю вибору способу виконання, відкритих запитань, ситуацій незавершеного пошуку, індивідуальних і групових дослідницьких завдань, а також залучення дітей до постановки навчальних цілей та рефлексії [13]. Наприклад, замість повідомлення готової теми дослідження вчитель може запропонувати дітям визначити, що саме вони хотіли б з'ясувати, а після завершення роботи – обговорити, чи вдалося отримати відповідь і яким способом її було знайдено. Така організація сприяє розвитку мотиваційного та діяльнісного компонентів пізнавальної активності, оскільки дитина набуває досвіду особистої причетності до навчального процесу та самостійного прийняття рішень.

Створення емоційно сприятливого освітнього середовища передбачає забезпечення психологічної безпеки, за якої дитина може вільно висловлювати думки, ставити запитання, висувати припущення та припускатися помилок без страху негативної оцінки [4]. Пізнавальна активність передбачає готовність учня запропонувати власне пояснення або спосіб розв'язання навіть за відсутності повної впевненості в його правильності. Якщо помилка сприймається як невдача, що неодмінно викликає осуд, дитина може уникати складних завдань і надавати перевагу вже відомим способам дії. Натомість ставлення до помилки як до природної складової пізнавального пошуку створює умови для більшої готовності до дослідження та перевірки власних припущень. Важливим засобом реалізації цієї умови є підтримувальний педагогічний зворотний зв'язок, у якому увага приділяється не лише правильності кінцевого результату, а й докладеним зусиллям, використаним способам, позитивній динаміці та можливим шляхам удосконалення. Значення має також створення ситуацій, у яких дитина може побачити власний поступ і переконатися у здатності долати пізнавальні труднощі. Це сприяє формуванню впевненості у власних можливостях та готовності приймати складніші пізнавальні завдання.

Систематичне використання проблемних і практико-орієнтованих завдань спрямоване на залучення учнів до діяльності, яка потребує не простого відтворення інформації, а її осмислення, застосування та пошуку способу дії [12; 13]. Проблемне завдання створює ситуацію інтелектуального утруднення, коли наявних знань недостатньо для негайного отримання відповіді. Така ситуація може стати стимулом до пізнавального пошуку, якщо проблема є доступною для дитини, але водночас не має очевидного способу розв'язання. Ефективними є

запитання: «Чому це відбувається?», «Як можна перевірити наше припущення?», «Що зміниться, якщо…?», «Чи можна розв'язати цю проблему іншим способом?», «Як довести, що наше припущення правильне?», «Де ці знання можна використати в реальному житті?». Практико-орієнтовані завдання доповнюють проблемні ситуації можливістю застосувати знання в умовах, наближених до реального життя. Наприклад, учні можуть визначати способи раціонального використання води, планувати маршрут, розраховувати необхідну кількість матеріалів, досліджувати властивості природних об'єктів або пропонувати способи розв'язання певної побутової проблеми. Такі завдання сприяють переходу від засвоєння знань як самоцілі до їх використання як засобу розв'язання практичних і пізнавальних завдань. Їх систематичне застосування створює умови для розвитку діяльнісного, вольового та результативно-рефлексивного компонентів пізнавальної активності.

Залучення молодших школярів до дослідницької та проєктної діяльності забезпечує досвід самостійного пошуку, у процесі якого пізнавальний результат не повідомляється наперед, а має бути отриманий учнем [13; 14]. Дослідницька діяльність передбачає постановку запитання або проблеми, висунення припущення, визначення способу перевірки, проведення спостереження чи експерименту, аналіз отриманих результатів та формулювання висновку. У початковій школі такі завдання не повинні бути надмірно складними: їхня цінність полягає передусім у можливості дитини самостійно спостерігати, порівнювати, висувати припущення та перевіряти їх. Проєктна діяльність розширює ці можливості, оскільки передбачає тривалішу роботу над проблемою, планування послідовності дій, пошук інформації, розподіл ролей, створення певного продукту та його презентацію [14]. Водночас важливим є не лише кінцевий результат, а й процес його створення. Для розвитку пізнавальної активності принципово важливо, щоб проєкт не зводився до механічного виконання вказівок учителя або виготовлення декоративного продукту, а передбачав реальну участь учнів у визначенні проблеми, пошуку інформації, виборі способів дії та оцінюванні результату. Дослідницька та проєктна діяльність створюють умови для розвитку самостійності, наполегливості, ініціативності й рефлексивності, а також для інтеграції знань із різних освітніх галузей.

Цілеспрямоване застосування інтерактивних технологій навчання передбачає організацію активної взаємодії учнів між собою та з учителем. Робота в парах і малих групах, «мозковий штурм», навчальні дискусії, взаємонавчання, «Мікрофон», «Незакінчені речення», «Займи позицію», взаємоперевірка, методи колективного пошуку рішень та навчальні ігри можуть створювати умови для обговорення, аргументації, прийняття рішень і спільного пошуку [17].

Особливе місце в такій організації діяльності посідають дидактичні ігри, оскільки вони дають змогу поєднати емоційну залученість дитини з розв'язанням конкретного пізнавального завдання. На відміну від звичайної розваги, дидактична гра має бути підпорядкована визначеній навчальній меті та передбачати виконання учнями певних розумових дій. Залежно від змісту

навчання це можуть бути ігри на класифікацію та групування, встановлення закономірностей, пошук зайвого об'єкта, відновлення послідовності, побудову логічних зв'язків, вікторини, рольові та сюжетні ігри, ігри-подорожі, інтелектуальні змагання, а також завдання з елементами квесту. Пізнавальна цінність таких ігор визначається не самим ігровим оформленням, а тим, наскільки воно спонукає учня аналізувати, порівнювати, висувати припущення, обґрунтовувати вибір, знаходити помилки та шукати способи розв'язання завдання. Наприклад, у грі «Знайди помилку дослідника» учням можна запропонувати опис певного досліду з навмисно допущеною помилкою. Діти мають її виявити, пояснити, чому вона впливає на результат, і запропонувати правильний варіант. Така організація поєднує ігровий мотив із аналізом, аргументацією та пошуком способу вдосконалення діяльності. Пізнавальний потенціал має й ігрове моделювання, коли учні уявляють себе дослідниками, мандрівниками, екологами, журналістами, винахідниками або експертами, які повинні розв'язати певну проблему. Зміна рольової позиції може зробити навчальну ситуацію особистісно значущою та спонукати дитину до активного використання набутих знань [2].

У сучасному освітньому процесі інтерактивна взаємодія може доповнюватися цифровими технологіями, зокрема інтерактивними вправами, освітніми платформами, віртуальними моделями та цифровими іграми, якщо їх використання спрямоване на активізацію мислення, самостійний пошук і застосування знань. Водночас сама назва технології чи прийому ще не забезпечує пізнавальної активності. Визначальним є характер пізнавальних дій, які виконує учень. Якщо інтерактивний прийом або гра використовуються формально, зводяться до відтворення вже повідомленої інформації чи переважно до змагального і розважального компонента, їхній потенціал для розвитку пізнавальної активності обмежується. Тому інтерактивні та ігрові технології доцільно добирати відповідно до навчальної мети, змісту завдання та рівня самостійності учнів, орієнтуючись не просто на динамічність уроку, а на створення умов для мислення, взаємодії, вибору та самостійного пошуку. Особливо продуктивним є поєднання інтерактивної взаємодії з проблемними, дослідницькими та практико-орієнтованими завданнями, коли учень не лише бере участь у спільній діяльності, а й має самостійно поставити запитання, висловити припущення, обґрунтувати позицію, перевірити результат і зробити висновок. Саме за таких умов інтерактивні та ігрові засоби стають не просто способами урізноманітнення уроку, а засобами зміни характеру навчально-пізнавальної діяльності [13; 17].

Визначені педагогічні умови утворюють взаємопов'язану систему, а не сукупність окремих методичних рекомендацій. Суб'єктна позиція забезпечує особистісну включеність учня; емоційно сприятливе середовище підтримує його готовність до пізнавального пошуку; проблемні та практико-орієнтовані завдання створюють потребу в пошуку; дослідницька й проєктна діяльність забезпечують досвід самостійного пізнання; інтерактивні технології розширюють можливості

співпраці, обговорення та спільного розв'язання проблем. Узагальнено їх взаємодію можна представити так: суб'єктна позиція учня → позитивне емоційне ставлення → пізнавальна проблема → самостійний пошук → взаємодія та співпраця → отримання результату → рефлексія → подальша пізнавальна активність. Ця послідовність має умовний характер, оскільки в реальному освітньому процесі зазначені умови взаємодіють і взаємно підсилюють одна одну.

Важливим засобом переходу від репродуктивної до продуктивної та творчої пізнавальної діяльності є залучення молодших школярів до дослідницької та проєктної роботи. На відміну від завдань, у яких спосіб виконання заздалегідь визначений учителем, дослідницька діяльність передбачає наявність пізнавальної проблеми, що потребує самостійного пошуку відповіді. Це створює потребу в активному використанні набутих знань, висуванні припущень, перевірці їхньої правильності та формулюванні висновків [13; 14].

Пізнавальна цінність дослідження для молодшого школяра полягає передусім у можливості самостійно отримати нове знання або перевірити певне припущення. Навіть нескладне дитяче дослідження передбачає послідовність розумових і практичних дій: виникнення запитання, визначення проблеми, висунення припущення, добір способу перевірки, отримання результату та його осмислення. Умовно цей процес можна представити так: пізнавальна проблема → запитання → припущення → планування способу перевірки → дослідження → аналіз результатів → висновок → рефлексія. На кожному етапі дитина здійснює активні пізнавальні дії: постановка запитання стимулює інтерес, висунення припущення розвиває самостійність мислення, планування формує вміння визначати послідовність дій, дослідження забезпечує практичне застосування знань, а аналіз і рефлексія допомагають усвідомити отриманий результат [13; 14].

Для початкової школи важливо, щоб дослідницькі завдання були доступними за змістом, але відкритими за способом виконання. Дитині не обов'язково проводити складний експеримент. Значно важливішим є те, щоб вона мала можливість самостійно спостерігати, порівнювати, робити припущення та перевіряти їх. Наприклад, під час вивчення природничого змісту учням можна запропонувати проблему: «Від чого залежить швидкість проростання насіння?» Замість повідомлення готової відповіді діти можуть висловити припущення щодо впливу води, світла, температури чи ґрунту, а потім спланувати просте спостереження. Подібний підхід може застосовуватися і в інших освітніх галузях: на уроках математики учні можуть шукати різні способи розв'язання задачі; під час мовно-літературного навчання – досліджувати особливості тексту; у межах курсу «Я досліджую світ» – встановлювати властивості природних об'єктів, аналізувати явища навколишнього середовища, проводити спостереження та створювати прості моделі [12; 13].

Особливе значення має самостійне формулювання учнями запитань. Якщо вчитель постійно визначає, що саме необхідно з'ясувати, дитина залишається виконавцем уже сформульованої проблеми. Натомість залучення школярів до постановки власних запитань сприяє переходу до суб'єктної позиції. Необхідною

складовою дослідницької роботи є також висунення припущень, які дитина має не просто назвати, а обґрунтувати. Це допомагає усвідомити, що в процесі пізнання припущення може бути як підтверджене, так і спростоване. Важливо навчати молодших школярів і фіксувати результати власної діяльності за допомогою простих таблиць, малюнків, схем, умовних позначень, коротких записів, фотографій або моделей. Така фіксація робить процес пізнання більш усвідомленим і створює основу для подальшого аналізу [13; 14].

Поряд із дослідницькою діяльністю значний потенціал має метод проєктів. Його специфіка полягає в тому, що учні працюють над певною проблемою протягом тривалішого часу та створюють конкретний продукт. Проєктна діяльність передбачає визначення мети, планування, пошук інформації, розподіл завдань, виконання практичних дій, представлення результату та його оцінювання. Для розвитку пізнавальної активності принципово важливо, щоб проєкт не перетворювався на механічне виконання вказівок учителя або виготовлення декоративного продукту, а передбачав реальну участь учнів у виборі проблеми, способів її дослідження та форми представлення результатів [14]. Наприклад, у межах інтегрованого навчання можна організувати проєкт «Як зробити нашу школу більш дружньою до природи?». Учні можуть дослідити використання паперу та води, визначити можливості сортування відходів, провести опитування, проаналізувати результати та розробити власні пропозиції. Кінцевим продуктом може бути інформаційний плакат, пам’ятка, презентація, модель або план конкретних дій. Така робота створює умови для інтеграції знань із різних освітніх галузей, оскільки учні можуть одночасно застосовувати математичні способи опрацювання інформації, мовленнєві вміння, природничі знання, цифрові інструменти та навички соціальної взаємодії [12; 14].

Важливою перевагою проєктної діяльності є можливість диференціації завдань. У груповому проєкті різні учні можуть виконувати різні функції відповідно до своїх можливостей та інтересів: шукати інформацію, проводити спостереження, здійснювати обчислення, оформлювати результати, готувати усний виступ тощо. Це дає змогу кожній дитині бути залученою до спільного результату та водночас реалізувати власну пізнавальну активність. Крім того, робота над дослідженням або проєктом створює досвід подолання пізнавальних труднощів: необхідність повторити спостереження, уточнити припущення, знайти додаткову інформацію або змінити спосіб дії сприяє розвитку наполегливості, самоконтролю та здатності коригувати власну діяльність [13; 14]. Завершальним етапом дослідницької та проєктної роботи має бути рефлексія. Учні повинні мати можливість не лише повідомити отриманий результат, а й обговорити сам процес: що вдалося зробити, які труднощі виникли, як їх подолали, чи підтвердилося початкове припущення, що можна було б змінити або дослідити надалі. Саме рефлексивний компонент перетворює окремий дослідницький досвід на досвід навчання вчитися: дитина починає усвідомлювати не тільки що вона дізналася, а й як вона це дізналася [9; 13].

Отже, дослідницька та проєктна діяльність створюють умови для комплексного розвитку визначених компонентів пізнавальної активності: мотиваційного – через особистісну значущість проблеми та інтерес до пошуку; емоційно-ціннісного – через переживання самостійного відкриття та досягнення результату; вольового – через необхідність долати труднощі й доводити роботу до завершення; діяльнісного – через безпосереднє виконання пошукових, дослідницьких і практичних дій; результативно-рефлексивного – через аналіз отриманих результатів і способів їх досягнення [13; 14]. Таким чином, дослідницька та проєктна діяльність є не просто окремими педагогічними технологіями, а простором практичної реалізації пізнавальної активності молодшого школяра. Вони забезпечують поступовий перехід від засвоєння готових способів дії до самостійного визначення проблеми, пошуку інформації, перевірки припущень, створення продукту та оцінювання власного результату. Водночас ефективність такого підходу визначається не кількістю проведених проєктів чи дослідів, а ступенем реальної пізнавальної самостійності дитини. Тому завдання педагога полягає у поступовому зменшенні прямої допомоги та розширенні можливостей учнів самостійно приймати рішення, планувати діяльність і відповідати за її результат [13; 14].

Проведений теоретичний аналіз та узагальнення методичних підходів дають підстави розглядати розвиток пізнавальної активності молодших школярів як динамічний і циклічний процес, у якому внутрішні спонукання дитини взаємодіють із характером організованої педагогом діяльності. Такий процес не зводиться до одноразового застосування окремого методу чи технології. Його результативність визначається систематичним створенням освітніх ситуацій, які спонукають школяра переходити від зацікавленості до активної дії, від виконання запропонованого завдання – до самостійного пошуку, а від отриманого результату – до його осмислення та виникнення нової пізнавальної потреби.

У цьому контексті механізм розвитку пізнавальної активності доцільно розуміти як взаємопов'язану систему психологічних і педагогічних процесів, завдяки яким поступово посилюються самостійність, ініціативність, цілеспрямованість і рефлексивність учня у процесі навчально-пізнавальної діяльності. Вихідною передумовою такого процесу є пізнавальний інтерес, який створює внутрішню готовність дитини звернутися до певного об'єкта, явища або проблеми та прагнути їх дослідити. Водночас інтерес не завжди виникає спонтанно і не обов'язково відразу набуває стійкого характеру. Тому важливим завданням учителя є створення ситуацій, у яких навчальний зміст набуває для дитини особистісного сенсу, викликає запитання, здивування, бажання перевірити припущення або знайти пояснення [3; 4; 9].

Пізнавальна активність починає безпосередньо проявлятися тоді, коли учень не лише виявляє зацікавленість, а й включається у пізнавальну діяльність: ставить запитання, висловлює припущення, обирає спосіб виконання завдання, звертається до додаткової інформації, взаємодіє з іншими учасниками освітнього процесу. Особливу роль у такому переході відіграє пізнавальна проблема або

практично значуще завдання. На відміну від завдання, що передбачає відтворення вже відомого способу дії, проблемна ситуація створює потребу в пошуку. Учень стикається з питанням, на яке не може відповісти лише шляхом механічного пригадування, тому має аналізувати, порівнювати, висувати припущення, перевіряти їх та встановлювати зв'язки [12; 13].

Важливою умовою цього процесу є поступове розширення самостійності школяра. На початкових етапах пошук може здійснюватися за часткової підтримки вчителя – через навідні запитання, алгоритми, зразки, інформаційні ресурси або взаємодію в парі чи групі. У міру набуття досвіду обсяг педагогічної допомоги має зменшуватися, а простір для самостійного вибору, планування та прийняття рішень – розширюватися. Відповідно змінюється і характер пізнавальних дій: від виконання за зразком – до самостійного застосування способів дії, їх вибору та пошуку нових способів розв'язання завдань. Саме ця динаміка створює передумови для переходу від репродуктивного до інтерпретаційного, а згодом – творчого рівня пізнавальної активності [13].

Важливою ланкою механізму є отримання та усвідомлення результату діяльності. Ним може бути правильна відповідь, розв'язана задача, встановлена закономірність, сформульований висновок, результати спостереження чи експерименту, створений проєктний продукт або запропонований спосіб розв'язання проблеми. Значущим є не лише сам результат, а й усвідомлення дитиною його зв'язку з виконаними нею діями. Якщо результат є наслідком власного пошуку та подолання пізнавального утруднення, він може створювати досвід пізнавального успіху. Дитина поступово переконується у власній здатності знаходити відповіді, перевіряти припущення та долати складні завдання. Такий досвід сприяє зміцненню впевненості у власних пізнавальних можливостях і готовності до подальшого пошуку [4; 9].

Однак отримання результату не завершує процес. Принципово важливою його складовою є рефлексія, під час якої учень осмислює не лише те, що отримав, а й те, яким способом цього досяг. Доцільними є запитання: «Що допомогло мені виконати завдання? Що виявилося складним? Яке припущення підтвердилося? Чому виникла помилка? Що я зробив би інакше наступного разу? Де ще можна застосувати отриманий результат?» Таке осмислення сприяє усвідомленню власних способів дії, оцінюванню їхньої ефективності та плануванню подальшої діяльності, а отже, створює основу для розвитку саморегуляції [9].

Рефлексія водночас не є остаточною точкою розвитку. Усвідомлення результату, власного поступу та способів подолання труднощів може підтримувати подальшу пізнавальну мотивацію й готовність звертатися до нових проблем. Учень поступово переходить від виконання вже запропонованих завдань до постановки власних запитань, вибору способів діяльності та перенесення набутого досвіду в нові ситуації. У такий спосіб завершення одного циклу створює передумови для початку наступного [3; 9].

Отже, механізм розвитку пізнавальної активності можна умовно представити як циклічну взаємодію таких ланок: пізнавальний інтерес → включення в

діяльність → проблемна або практично значуща ситуація → пошук і виконання пізнавальних дій → отримання результату → його осмислення та рефлексія → оновлення пізнавальної мотивації → новий цикл діяльності. При цьому зазначена послідовність не є жорстким алгоритмом: окремі ланки можуть взаємодіяти, повторюватися або частково збігатися залежно від змісту навчання, характеру завдання, вікових та індивідуальних особливостей учнів і рівня сформованості їхньої самостійності. Принципово важливо, що кожний наступний цикл має створювати умови для якісного ускладнення пізнавальних дій. Якщо спочатку дитина відповідає на запитання вчителя, то надалі вона може самостійно формулювати запитання; якщо спочатку працює за запропонованим алгоритмом – згодом обирає спосіб дії; якщо спершу відтворює відоме – надалі переносить знання в нову ситуацію, висуває власні припущення та створює новий продукт. Таким чином, розвиток пізнавальної активності не можна зводити лише до збільшення інтенсивності участі учня в навчанні. Йдеться насамперед про якісну зміну характеру його діяльності: від зовнішньої мотивації – до внутрішньої, від виконання – до ініціативи, від наслідування – до самостійного вибору, від відтворення – до застосування і пошуку, від готової відповіді – до формулювання власного запитання, від зовнішнього контролю – до самоконтролю, від оцінювання результату – до рефлексивного осмислення способу його досягнення [13]. З огляду на це роль педагога полягає не в постійному стимулюванні активності зовнішніми засобами, а у створенні умов для поступового переходу дитини до внутрішньої регуляції власної пізнавальної діяльності. Учитель організовує проблемні ситуації, добирає завдання відповідної складності, забезпечує емоційну підтримку, надає необхідну допомогу та поступово передає учневі більшу частину відповідальності за процес і результат пізнання [3; 4].

Узагальнюючи результати теоретичного та методичного аналізу, логіку розвитку пізнавальної активності молодших школярів можна представити так: створення умов для виникнення інтересу → включення дитини в активну діяльність → організація самостійного пошуку → підтримка досягнення результату → осмислення способів діяльності → поступове ускладнення пізнавальних завдань і розширення самостійності. Таким чином, розвиток пізнавальної активності молодших школярів є системним, динамічним і поступальним процесом, результативність якого визначається узгодженою взаємодією мотиваційних, емоційно-ціннісних, вольових, діяльнісних та рефлексивних чинників. Його ключовою характеристикою є не просто активна участь дитини в уроці, а поступове формування здатності ініціювати, здійснювати, контролювати й осмислювати власну пізнавальну діяльність. Саме така логіка створює підґрунтя для розвитку самостійності, ініціативності, творчого пошуку та готовності молодшого школяра до подальшого навчання [9; 13; 18].

Проведений теоретичний і методичний аналіз засвідчив, що пізнавальна активність молодших школярів є динамічною особистісною характеристикою, яка виявляється у стійкій спрямованості на пізнання, позитивному ставленні до

навчання, ініціативності, самостійності, готовності долати пізнавальні труднощі та рефлексивному осмисленні результатів діяльності. Її розвиток забезпечується взаємодією пізнавального інтересу як мотиваційної основи, власне пізнавальної активності як міри та якості залучення дитини до пізнання і навчально-пізнавальної діяльності як простору практичної реалізації цієї активності.

Обґрунтовано структурну цілісність пізнавальної активності, що охоплює мотиваційний, емоційно-ціннісний, вольовий, діяльнісний та результативно-рефлексивний компоненти, а також виокремлено відтворювальний, інтерпретаційний і творчий рівні її прояву. Їх динаміка відображає поступове зростання самостійності, ініціативності та продуктивності пізнавальних дій учнів.

Визначено, що ефективний розвиток пізнавальної активності потребує суб'єктної позиції дитини, емоційно сприятливого освітнього середовища, систематичного використання проблемних і практико-орієнтованих завдань, дослідницької та проєктної діяльності, інтерактивних та ігрових технологій. Принципово важливо, щоб ці засоби забезпечували не формальну зайнятість учнів, а їхнє активне залучення до постановки запитань, пошуку й перевірки способів розв'язання, аргументації, прийняття рішень і рефлексії.

Таким чином, розвиток пізнавальної активності молодших школярів доцільно розглядати як системний, діяльнісний і динамічний педагогічний процес, у якому пізнавальний інтерес спонукає до активного включення в діяльність, проблемна ситуація – до пошуку, практичний результат – до набуття досвіду, а рефлексія – до усвідомлення способів діяльності та подальшого самостійного пізнання. Такий підхід відповідає компетентнісній і діяльнісній спрямованості сучасної початкової освіти та створює передумови для становлення самостійного, ініціативного й відповідального суб'єкта навчання.

Подальші наукові дослідження проблеми доцільно спрямувати на розроблення та експериментальну перевірку методики розвитку пізнавальної активності молодших школярів, зокрема в умовах інтегрованого навчання та реалізації освітнього потенціалу курсу «Я досліджую світ». Перспективним є також визначення ефективності поєднання проблемних, дослідницьких, ігрових, проєктних, інтерактивних і цифрових засобів у розвитку різних компонентів пізнавальної активності учнів початкових класів.

Список використаних джерел

1. Березіна О., Цимбалюк О. Організована навчально-пізнавальна діяльність дітей молодшого дошкільного віку. Тернопіль : Мандрівець, 2018. 304 с.

2. Бібік Н. Гра в навчанні молодших школярів : варіативність підходів до застосування. *Український педагогічний журнал.* 2023. № 3. С. 197–204.

3. Бібік Н. Пізнавальний інтерес як умова суб'єктності навчання молодших школярів. *Педагогічний дискурс.* 2011. Вип. 10. С. 53–56.

4. Божук С. Психолого-педагогічні умови розвитку пізнавального інтересу молодших школярів. *Актуальні питання дошкільної та початкової освіти.* 2019. № 2. С. 124–127.

5. Голубенко Т. Психолого-педагогічні умови активізації пізнавальної діяльності молодших школярів засобами інтегрованого навчання. *Наука. Освіта. Молодь : матеріали XIV Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих науковців* (Умань, 28 квітня 2021 р.). Умань, 2021. Ч. 1. С. 76–78.

6. Гончаренко С. Український педагогічний словник. Київ : Либідь, 1997. 376 с.

7. Горбушко Т. Г. Розвиток пізнавальної активності учнів початкових класів шляхом упровадження елементів інноваційних технологій у навчально-виховний процес. *Початкове навчання та виховання.* 2017. № 31/32. С. 36–42.

8. Державний стандарт початкової освіти : затв. постановою Кабінету Міністрів України від 21 лютого 2018 р. № 87. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/87-2018-%D0%BF

9. Дубровська Л. О., Горянська А. М., Пісоцький В. П. Психолого-педагогічні особливості формування пізнавальних інтересів учнів молодшого шкільного віку. *Наукові записки. Серія «Психолого-педагогічні науки»* / Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя. 2024. № 2. С. 8–15.

10. Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL : https://zakon.rada.gov.ua/go/2145-19

11. Карпенко К., Мирончук Н. Формування у молодших школярів пізнавальної активності засобами гри. *Матеріали XXXVII Всеукраїнської практично-пізнавальної інтернет-конференції.* 2023. С. 57–63.

12. Максимчук Н. С., Хом'як О. А. Особливості розвитку пізнавальної активності учнів на уроках інтегрованого курсу «Я досліджую світ» у початкових класах НУШ. *Вісник Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янчука.* 2024. № 2. С. 24–29.

13. Мозуль І. В. Розвиток пізнавальної активності молодших школярів на уроках «Я досліджую світ» засобами інтерактивних методів навчання. Theoretical and practical aspects of science development : Scientific monograph. Part 2. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. P. 257–290.

14. Мозуль І. В. Творчі проєкти як засіб формування пізнавального інтересу молодших школярів до вивчення природознавства. Collective monograph «Promising scientific achievements in science, education and production – 2023». NES s.r.o., Nová Dubnica, Slovak Republic, 2023. P. 40–62.

15. Мойсеюк Н. Є. Педагогіка : навч. посіб. 5-те вид., допов. і перероб. Київ : Кондор, 2007. 656 с.

16. Нова українська школа : концептуальні засади реформування середньої школи. Київ : Міністерство освіти і науки України, 2016. 40 с. URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf

17. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Сучасний урок. Інтерактивні технології навчання : наук.-метод. посіб. Київ : А.С.К., 2004. 192 с.

18. Савченко О. Я. Дидактика початкової освіти : підруч. Київ : Грамота, 2012. 504 с.

19. Шапар В. Б. Сучасний тлумачний психологічний словник. Харків : Прапор, 2007. 640 с.

20. Ярченко Л. П. Розвиток пізнавальної активності учнів початкових класів шляхом упровадження елементів інтерактивних технологій у навчально-виховний процес. *Початкове навчання та виховання.* 2015. № 12. С. 2–4.

3.8. Patriotic Education of Senior Preschool Children Through Ukrainian Folk Active Games

ПАТРІОТИЧНЕ ВИХОВАННЯ ДІТЕЙ СТАРШОГО ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ ЗАСОБОМ УКРАЇНСЬКИХ НАРОДНИХ РУХЛИВИХ ІГОР

У сучасному суспільстві питання патріотичного виховання дітей старшого дошкільного віку набуває особливої актуальності. Україна, як незалежна країна з багатовіковою історією та багатим культурним спадком, має потребу в підростаючому поколінні, що обізнане та залучене до своєї національної спадщини. Патріотизм, розуміється як любов до своєї Батьківщини, готовність захищати її і розвивати, стає однією з найважливіших якостей, яку слід виховувати в дітях вже з раннього віку.

З метою ефективного формування патріотичних цінностей та національної свідомості, використання української народної рухливої гри стає чудовим засобом педагогічного впливу. Народна рухлива гра втілює в собі багато років традицій, культурних звичаїв та національних символів. Ця форма рухової активності сприяє розвитку фізичних, психологічних та соціальних навичок дітей, а також вкладає у них любов до рідної землі, традицій і культурних цінностей.

Важливою умовою формування соціально активної особистості є підготовка її до життя в сучасному суспільстві, метою якого є гармонійне поєднання інтелектуального, морального та фізичного розвитку. Нормативно-правове підґрунтя сучасної дошкільної освіти становлять Конституція України, Закон України «Про освіту», Закон України «Про дошкільну освіту» та Базовий компонент дошкільної освіти [2, 14–16].

Теоретичні та методичні аспекти патріотичного виховання дітей дошкільного віку, залучення їх до української культури, традицій і народознавства висвітлено у працях І. Беха, К. Чорної, А. Богуш, Н. Лисенко, Н. Гавриш та інших дослідників [4, 6, 7, 9]. У наукових розвідках наголошено на значенні національно-культурного змісту виховання та використанні традиційних форм і засобів роботи з дошкільниками.

Значна кількість досліджень присвячена використанню різних засобів патріотичного виховання дітей дошкільного віку, формуванню в них національної свідомості, любові до Батьківщини та ціннісного ставлення до культурної спадщини [8, 19, 22, 25]. Особливе місце серед таких засобів посідає гра, яка відповідає віковим особливостям дошкільників і створює можливості для емоційного залучення дитини до традицій та культури українського народу.

Основним завданням патріотичного виховання є формування патріотизму, і це питання набуває особливого значення на сучасному етапі українського державотворення. Тому тема, обрана для магістерського дослідження, є актуальною і потребує подальшого вивчення.

Однак, досі недостатньо досліджено роль української народної рухливої гри у патріотичному вихованні дітей старшого дошкільного віку. Саме тому дана проблема є актуальною для науковців, педагогів та батьків, які прагнуть забезпечити гармонійний розвиток та формування національної свідомості у дітей.

Таким чином, наукове дослідження присвячене проблемі патріотичного виховання у дітей старшого дошкільного віку засобом української народної рухливої гри.

Мета дослідження: теоретично обґрунтувати й експериментально перевірити ефективність системи роботи з виховання патріотичних почуттів у дітей старшого дошкільного віку засобом української народної рухливої гри.

Дослідження проблеми патріотичного виховання дошкільників є важливим кроком у розбудові системи освіти, спрямованої на виховання патріотичних цінностей, громадянського самосвідомого ставлення та активної громадянської позиції в дітей з раннього віку.

У сучасних закладах дошкільної освіти України національно-патріотичне виховання дітей здійснюється відповідно до положень Конституції України, законів України «Про освіту» та «Про дошкільну освіту» [14–16]. Оновлені підходи до національно-патріотичного виховання в закладах освіти визначено наказом Міністерства освіти і науки України від 06.06.2022 № 527 [17].

Важливими є психолого-педагогічні аспекти патріотичного виховання, які потребують вирішення з метою виховання почуття патріотизму та громадянської відповідальності в особистості. Ці проблеми полягають у розумінні психологічних чинників, які впливають на розвиток патріотичних установок і цінностей, а також у визначенні ефективних педагогічних стратегій для прищеплення та виховання патріотизму в особистості.

Однією з ключових психологічних проблем є розуміння того, як індивідуальні відмінності, такі як особистісні риси та соціокультурне середовище, впливають на формування патріотичних переконань та поведінки. Дослідники вивчають роль сім'ї, однолітків та суспільних чинників у формуванні патріотичних поглядів, а також шукають шляхи створення інклюзивного середовища, яке сприятиме розвитку почуття приналежності до своєї країни.

Сучасний простір дошкільної освіти створює нові можливості для патріотичного виховання та водночас потребує педагогічно виваженого добору змісту, форм і засобів роботи з дітьми. Важливим є поєднання пізнавального, емоційно-ціннісного та діяльнісного компонентів, що сприяють усвідомленню дитиною своєї належності до українського народу та повазі до його культурної спадщини [25].

У педагогіці патріотизм розглядають як важливу характеристику особистості, яка впливає на поведінку людини і включає в собі комплекс морально-етичних почуттів до своєї Батьківщини, відданість рідному народу та землі. Згідно з визначенням М. Єпіхіна та Н. Курило, патріотизм виявляється у любові та відданості до Батьківщини, а також у бажанні працювати на її користь. Вона розглядає історичне коріння патріотизму як формування зв'язків з рідною землею, рідною мовою, народними традиціями, звичаями та культурою [13, с. 96].

Дослідниця В. Мусієнко, проаналізувавши поняття «патріотизм», визначила три основні духовні аспекти патріотизму: емоційне переживання любові до рідної природи, рідної мови і народу в цілому, загалом - любов до Батьківщини; розуміння своєї обов'язковості перед Батьківщиною і народом, необхідність захисту їх інтересів та здатність протистояти ворогам; формування національно-патріотичної свідомості, яка передбачає готовність служити Батьківщині, своєму народу, а також поставити інтереси держави вище за особисті інтереси та особисте життя [23, с. 102].

В структурі патріотизму, що була визначена Л. Шкребтієнко, виокремлено наступні елементи: патріотичні почуття (любов до рідного краю, гордість, захоплення, відповідальність за долю Батьківщини); національна гідність; потреба у задоволенні національних інтересів, самовираженні; патріотична свідомість; національний толерантний підхід та повага до гідності людей інших націй, інтерес до вивчення їх культури; потреба у збереженні та передачі вітчизняних духовно-культурних цінностей; потреба і готовність до патріотичної діяльності [26, с. 200].

Вирішення психолого-педагогічних проблем патріотичного виховання вимагає міждисциплінарної співпраці між психологами, педагогами та батьками. Завдяки дослідженням і практичним заходам можна розробити науково обґрунтовані стратегії, які сприятимуть розвитку патріотизму в особистості, виховуючи почуття гордості, відданості та активної участі у покращенні життя своєї нації.

Патріотизм розвивається шляхом національно-патріотичного виховання, яке дослідниця Н. Аркуша розглядає як процес формування національної самосвідомості, розуміння власної гідності та цінностей культури [1, с. 75]. Проблему національно-патріотичного виховання на основі українських народних традицій, досліджували багато вчених, таких як І. Бех, Ю. Бондаренко, Г. Гуменюк, В. Лаппо, Н. Рогальська, Ю. Руденко, О. Сухомлинська, К. Чорна, Г. Шевченко та інші.

Патріотичні почуття відображають ставлення громадян будь-якої національності до своєї держави. А. Богуш підкреслює, що визначальним у національно-патріотичному вихованні є розвиток в особистості потреби активно діяти для самоорганізації свого життя та будування держави, а також проявляти, оцінювати та аналізувати вчинки, людські якості та соціально-політичні явища в контексті патріотизму та національних цінностей [6, 7]. Дітям дошкільного віку

може бути важко повністю оволодіти перерахованими якостями, проте важливо закласти основи для подальшого розвитку національно-патріотичних цінностей.

За Н. Борисова, патріотичне виховання дітей дошкільного віку охоплює цілеспрямований і систематичний вплив на свідомість та почуття дитини з метою розвитку у неї любові до Батьківщини, традицій, звичаїв та рідної мови [8]. Дослідник І. Бех відзначає патріотичне виховання дітей та молоді як комплексну та системну діяльність різних соціальних інститутів, таких як органи державної влади, громадські організації, сім'я та школа, з метою формування у молодого покоління високої патріотичної свідомості, почуття відданості та любові до Батьківщини, готовності виконувати громадянські обов'язки та захищати національні інтереси, сприяти становленню України як правової, демократичної та соціальної держави [4, с. 39].

Учена Т. Кущова, вважає, що патріотичне виховання старших дошкільників пов'язане з бажанням брати участь у справах, що сприяють благу сім'ї, рідного міста та Батьківщини, а також з наявністю співчуття, відчуття власної гідності та усвідомлення себе частинкою оточуючого середовища. Важливо, щоб діти з дошкільного віку відчували особисту відповідальність за свою рідну землю та її майбутнє [20]. У зв'язку з процесом державотворення, національно-культурним відродженням та оновленням життя в Україні, виникає необхідність нового погляду на національно-патріотичне виховання, починаючи з дошкільної освіти.

В. Кротюк розглядає патріотизм як одну з важливих суспільних і особистісних цінностей, що виявляється у любові до рідної країни, причетності до її історії та культури, усвідомленні відповідальності за її розвиток і готовності діяти на благо Батьківщини [18, с. 52–58].

Патріотичне виховання ґрунтується на принципах, які варто дотримуватись під час роботи з формування патріотичних почуттів у дітей дошкільного віку: принцип природо-відповідності, який враховує особливості людської природи; принцип культуро-відповідності, що передбачає розвиток культурно-творчого процесу; принцип етнізації, який спрямований на збагачення виховання національним змістом; принцип гуманізму, який розглядає дитину як вищу соціальну цінність; принцип демократизму, що передбачає рівноправне спілкування учасників освітнього процесу; принцип безперервності, який підкреслює систематичність патріотичного виховання [19].

Патріотичне виховання дітей старшого дошкільного віку є важливою складовою їх загального розвитку і формування особистості. Основною метою патріотичного виховання є створення у дітей почуття любові до своєї Батьківщини, розуміння і прихильність до її своєї історії, культури, традицій та цінностей.

У старшому дошкільному віці відбувається формування патріотичних почуттів у дітей, що вважається однією з найважливіших моральних цінностей. У цьому віці діти починають формувати власні цінності та емоційне світосприймання, яке проявляється у їхній діяльності, поведінці та взаєминах з іншими людьми. Вони розуміють соціальні норми та оцінюють поведінку

однолітків і дорослих, виявляють орієнтацію на суспільство і здатність на своєму рівні розуміти та оцінювати соціальні відносини. Діти починають усвідомлювати важливість суспільно значущих справ, розуміють і оцінюють соціальні явища та орієнтуються на оцінку дорослого через конкретні види діяльності. Особливості патріотичного виховання дітей старшого дошкільного віку включають:

1. Формування інтересу та почуття гордості: важливо зацікавити дітей українською історією, культурою, природою та традиціями. Показати їм яскраві приклади досягнень українських героїв і визначних особистостей, що спонукають до почуття гордості за свою країну.
2. Ознайомлення з символами та національними традиціями: діти повинні знати та розуміти значення державних символів, таких як прапор, герб, гімн, а також українських традицій і свят. Це допоможе сформувати в них почуття належності і ідентифікації з національною спільнотою.
3. Розуміння місця України в світі: діти повинні ознайомлюватись з культурою та традиціями інших народів, розвивати толерантність та повагу до інших культур. Важливо навчити їх розуміти місце України у світі та відчувати свою відповідальність за збереження національної спадщини.
4. Прищеплення громадянських цінностей: патріотичне виховання повинно включати формування громадянської свідомості та цінностей. Діти повинні вчитися бути відповідальними громадянами, дотримуватися правил, поважати інших людей, брати участь у спільних справах та розвитку своєї спільноти.
5. Стимулювання активної участі: дітям слід надавати можливості брати участь у патріотичних заходах, таких як святкування національних свят, спільні проекти або благодійні акції. Це сприяє розвитку активності, відчуття приналежності та самореалізації.
6. Посилення співпраці з батьками: важливо співпрацювати з батьками, залучати їх до процесу патріотичного виховання. Регулярні зустрічі, спільні заходи та обговорення сприяють формуванню єдиної підходу та підтримці в розвитку патріотичних цінностей у дітей [25].

У Базовому компоненті дошкільної освіти визначено орієнтири, пов’язані з формуванням у дітей любові до рідного краю, почуття власної гідності, поваги до національних традицій і культурної спадщини, а також шанобливого ставлення до інших людей [2].

Робота вихователя щодо патріотичного виховання включає систематичний вплив на дітей під час занять, на прогулянках і під час бесід та інших видах діяльності в закладах дошкільної освіти. Також важливим є створення в закладі дошкільної освіти патріотично спрямованого середовища, яке сприятиме формуванню любові до всього українського у дітей та їх батьків. Для цього може бути створено окремий куточок, де знаходитимуться народні символи нашої країни, патріотична література (вірші, книги, прислів'я та приказки), українські народні пісні та ігри, народний одяг, рушники, вишиванки, народний посуд,

плакати та карти України, цікава інформація про видатних українців, а також добірка матеріалів про особливості природи рідного краю та інше [22, с. 125].

Базовий компонент дошкільної освіти передбачає реалізацію патріотичної спрямованості освітнього процесу та прилучення дітей до національної культури [2]. Одним із педагогічно доцільних засобів такої роботи є українські народні рухливі ігри, які допомагають дітям краще розуміти й цінувати традиції, культурні надбання та національну спадщину [3, 5–7, 10, 11].

Українські народні ігри є складником культурної спадщини народу та передають від покоління до покоління елементи його побуту, звичаїв, традицій і світогляду. Залучення старших дошкільників до таких ігор сприяє емоційному переживанню належності до української культури, формуванню інтересу до народних традицій і патріотичних почуттів [3, 5–7, 10, 11].

У науково-методичній літературі українські народні ігри класифікують за різними ознаками: характером рухової активності, наявністю пісенного чи словесного супроводу, використанням предметів, спрямованістю на розвиток фізичних якостей та змістом ігрової діяльності [3; 5;10; 11]. Добираючи народні рухливі ігри для дітей, педагог має враховувати освітню мету, рівень фізичної підготовленості й руховий досвід вихованців, їхні інтереси, умови та місце проведення.

Народні ігри є різноманітними за змістом, організацією та характером дитячої активності. Їх використання в освітньому процесі доцільно поєднувати з ознайомленням дошкільників із національними традиціями, культурою та історією, що посилює виховний потенціал ігрової діяльності [3; 5; 9–11].

Т. Нестеренко наголошує на значенні народних ігор як засобу виховання і навчання дітей, що передають духовні цінності, формують патріотичні почуття і сприяють розвитку характеру та світогляду дошкільнят. Ці ігри прилучають дітей до народної мудрості та досвіду поколінь. Вони ґрунтуються на організаційно-функціональному підході і включає такі типи ігор: самостійні ігри, які виникають з ініціативи дітей, включаючи ігри-експериментування та сюжетні ігри; ігри, ініційовані дорослими, які використовуються для освітніх та виховних цілей, такі як навчальні ігри і розважальні ігри; ігри, що мають історичні традиції етносу (народні ігри), які можуть бути ініційовані дорослими або старшими дітьми [24, с. 5].

Учена А. Богуш надавала великого значення народній грі у патріотичному вихованні. Вона називала народну гру школою життя і вважала, що народна гра є найдавнішим засобом виховання і навчання дітей та нескінченним джерелом духовних сил, патріотизму, формування характеру і світогляду дітей дошкільного віку [6; 7].

Сучасні наукові дослідження, проведені А. Богуш, Е. Вільчковським, А. Вольчинським, Н. Луцан, Н. Лисенко, Г. Воробей, М. Мельничук, Є. Приступи, Н. Химич, А. Цьося, О. Яницька та іншими дослідниками, спрямовані на відродження та ефективне впровадження народних ігор у процес освіти та виховання. Галузь ігор і забав є важливою складовою народної дидактики та

охоплює різноманітні аспекти, включаючи народознавчий, мовленнєвий, математичний, природничий, пізнавальний, розважальний та оздоровчий.

Народні ігри співвідносяться з різними святами і національними обрядами, і вони відображають сезонні явища та звичаї, пов'язані з сільським господарством та земельною роботою. Існує можливість класифікації народних ігор за різними ознаками. Наприклад, Бардакова Є. Упоряд. Ю класифікує їх за ступенем фізичного навантаження, розрізняючи ігри великої, середньої та малої активності [3, с. 96]. Г. Бєлєнька поділяє їх за видами основних рухів, таких як ігри з ходьбою, бігом, стрибками, лазінням і т.д. [5, с. 8]. З. Гребінченко розрізняє народні ігри на рухливі та забави, які супроводжуються співом, приказками, примовками, а також ігри з використанням предметів, спрямовані на розвиток фізичних якостей, таких як сила, спритність і швидкість [10, с. 20]. Т. Дем'янюк пропонує розділити всі дитячі ігри на два види: ті, що спрямовані на духовний розвиток дитини, та ті, які активізують фізичні та спортивні якості. Вона також ділить українські народні дитячі ігри на групи відповідно до їхнього характеру із використанням пісень, діалогів, рухів та інших елементів [11, с. 15].

До великої категорії ігор входять народні рухливі ігри, в яких мовленнєвий текст обмежений і може включати лічилки, примовки та перегукування. Рухливі хороводні ігри супроводжуються текстом пісні, де слова є основним елементом, а рухи, як правило, прості (наприклад, ходіння в колі), і можуть включати біг після завершення співу. Обрядові ігри і традиційні ігри передають особливі події з життя українського народу, такі як початок жнив, косовиця, святкування Великодня та Купала, гра в калиту, та веснянки. Ігри історичної і соціальної спрямованості відображають характер того часу, коли вони були створені, і можуть включати архаїчні елементи, які можуть бути незрозумілими сучасному гравцеві, такі як «пан», «король», «цар», «царівна». Ігри побутового спрямування розкривають аспекти повсякденного життя людей і можуть включати ігри зі сценаріями, пов'язаними зі сімейним життям [11; 12].

У дітей старшого дошкільного віку широко використовуються рухливі народні ігри. Вони можуть поєднувати рухову активність із фольклорними елементами — лічилками, примовками, пісенним супроводом, а також сприяти розвитку мовлення, уваги, спритності та вмінню діяти за правилами. Українські народні рухливі ігри відображають особливості побуту й традицій народу та мають потенціал для формування інтересу до національної культури і патріотичних почуттів [3; 5–7; 10; 11].

Важливим є культурний контекст народних ігор: у них відображаються традиції, звичаї, елементи народної творчості та уявлення про повсякденне життя. Участь у таких іграх сприяє прилученню дітей до національної культурної спадщини та усвідомленню її цінності [6; 7; 21].

Народні ігри можна об'єднувати в кілька груп. До сезонно-обрядових належать, зокрема, «Кривий танець», «Горішок», «Подоляночка»; вони традиційно пов'язані з календарними святами, піснями та хороводами. У побутових іграх відображено різні види праці та повсякденного життя українців.

Окрему групу становлять ігри-ловітки, ігри-забави та ігри-атракціони з елементами змагання [3; 5; 10; 11].

Народні ігри також розрізняють як сюжетні та безсюжетні, а за ступенем фізичного навантаження — як ігри великої, середньої та малої рухливості. Їх можна систематизувати і за переважним видом рухів, словесним чи пісенним супроводом, використанням предметів та спрямованістю на розвиток фізичних якостей. Добираючи ігри для дітей, доцільно враховувати природні умови, місце проведення, сезон та педагогічну мету [3; 5; 10; 11].

Для виявлення рівнів патріотичної вихованості у дітей старшого дошкільного віку було організовано і проведено експериментальне дослідження.

Дослідження проходило в три етапи: констатувальний, формувальний, контрольний.

Перший етап експерименту розпочався з проведення констатувального дослідження, яке включало в себе декілька діагностичних методик: анкетування педагогів та батьків, спрямоване на визначення засобів патріотичного виховання дітей старшого дошкільного віку: бесіди з дітьми, призначені для оцінки їхніх знань про державні символи України, українські народні традиції, звичаї, українські народні рухливі ігри, а також для виявлення їхнього інтересу до них; дидактичні ігри спрямовані на оцінку рівня знань дітей про державних символів, українських звичаїв, традицій та українських народних ігор. Здатності вихованців до вираження позитивних емоцій, захопленості українськими традиціями, звичаями, українськими народними рухливими іграми, виявлення бажання грати у них; спостереження за поведінкою дітей під час ігрової та трудової діяльності, що дозволило визначити, чи дотримуються вони правил гри, чи беруть участь в українських народних рухливих іграх; подальший аналіз отриманих результатів; математична обробка отриманих даних.

Для оцінки рівнів патріотичної вихованості були визначено наступні критерії: когнітивний, емоційний та діяльнісний.

Когнітивний критерій оцінює рівень знань дітей про державні символи України (Прапор, Герб, Гімн), а також їхні знання про моральні цінності, українські традиції, звичаї та культуру. Показниками сформованості цього критерію є: знання державних символів, розрізнення їх від символів інших країн, розуміння та називання українських традицій та українських народних рухливих ігор.

Емоційний критерій включає в себе особисті оцінки та почуття дитини, її зацікавленість, повагу та свідомість власної приналежності до українського народу та гордість за це. Показники цього критерію включають: повагу до державних символів, інтерес до них, здатність розповідати про Україну, її традиції, звичаї та працелюбство українського народу, а також позитивні емоції, виражені під час участі у народних рухливих іграх.

Діяльнісний критерій відображає уміння та навички дітей, які виявляються в їхній поведінці та діях, пов'язаних із діями патріотичного характеру, такими як гра в українські народні рухливі ігри. Показники цього критерію включають:

активну участь у заходах суспільно-патріотичного спрямування, володіння українською мовою, дотримання українських звичаїв і традицій, а також участь у народних рухливих іграх.

Згідно з встановленими критеріями та їх показниками, були визначені три рівні патріотичної вихованості у дітей старшого дошкільного віку:

І рівень – високий: діти вірно відповідали на всі питання під час бесіди, впевнено називають державні символи України, розуміють їх значення, можуть розпізнати державні символи України серед символів інших держав. Вони також цікавляться питаннями, що стосуються державних символів, та швидко та охоче відповідають на них. Діти з радістю розповідають про українські звичаї і традиції, а також насолоджуються грою в українські народні рухливі ігри.

ІІ рівень – середній: діти відповідають на питання під час бесіди з деякою невпевненістю, називають державні символи України частково, знають їхнє значення, але не завжди можуть чітко пояснити. Вони проявляють цікавість до нової інформації. Діти не завжди дотримуються українських традицій та звичаїв і іноді грають у народні рухливі ігри.

ІІІ рівень – низький: діти відповідають на більшість питань під час бесіди за допомогою дорослого, не можуть самостійно чітко назвати державні символи України та не розуміють їхнього значення. Вони не володіють навичками правильної поведінки під час виконання Державного Гімну, легко відволікаються від основних питань та не дотримуються українських традицій і звичаїв. Іноді вони беруть участь у народніх рухливих іграх.

Для проведення констатувального етапу дослідження були вибрані методики для кожного показника, що були визначені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Показники	**Діагностичні методики**
Емоційний критерій	
Шанобливе ставлення до символів нашої країни та рідної мови Виявлення позитивних почуттів щодо українських традицій та звичаїв Інтенсивне демонстрування позитивних емоцій під час участі у народних рухливих іграх	– Розмова на тему: «Які почуття виникають у тебе, коли...» – Бесіда щодо ставлення до українських традицій. – Розповідь дитини про своє рідне місто. – Спостереження за дітьми під час гри та розважальних занять.
Когнітивний критерій	
Розуміння державних символів України Знання та розуміння українських обрядів і традицій, українського національного одягу Освоєння та розуміння українських народних рухливих ігор і розваг	– Бесіда за картками «Національні символи України». – Бесіда на тему «Народні символи-обереги, національний одяг, віночок». – Бесіда «Твої знання щодо українських обрядів і традицій». – Творчі завдання «Назви українську народну рухливу гру». – Бесіда на тему «Українські народні рухливі ігри».

Діяльнісний критерій	
Відповідно реагує, коли відтворюється гімн України, піднімається національний прапор та спілкується рідною мовою Дотримується Українських традицій, таких як працьовитість і висока моральна культура Активно бере участь у заходах де використовуються українські народних рухливих іграх	– Спостереження за дітьми під час проведення виховного заходу «Подорож-гра». – Організація трудової діяльності, пов'язаної із створенням годівниць для птахів. – Ігрове завдання: «Одягніть національний костюм». – Спостереження за дітьми під час заходів (розваг, свят, ігор).

Для визначення рівня патріотичної вихованості у дітей старшого дошкільного віку за емоційним критерієм ми провели такі методики, включаючи бесіди на теми «Як ти відчуваєш коли...», «Як ти ставишся до українських традицій та звичаїв», дидактичну вправу «Про що ти хотів би дізнатися», спостереження за дітьми під час ігрової діяльності, а також слухали розповіді дітей про їхнє рідне місто. Після аналізу відповідей дітей ми отримали наступні результати. Підсумовуючи результати емоційного критерію для всіх завдань, можна зазначити, що рівень патріотичної вихованості у дітей старшого дошкільного віку оцінюється як середній (48% – ЕГ, 46% – КГ). Високий рівень проявили 18% – ЕГ, 20% – КГ, тоді як на низькому рівні перебувають 34% дітей обох груп (рис. 2.1., 2.2).

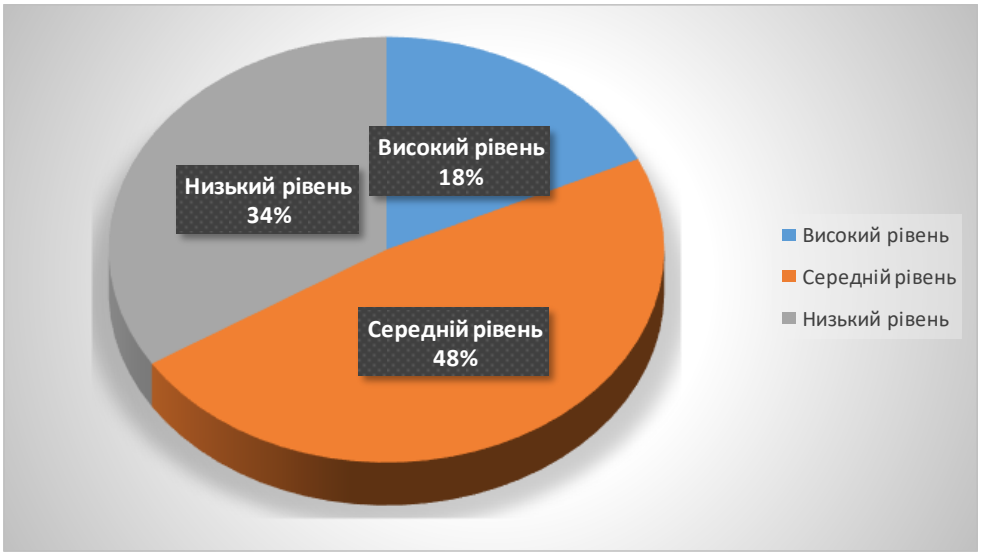


Рис 2.1. Рівні патріотичної вихованості за емоційним критерієм в ЕГ на констатувальному етапі

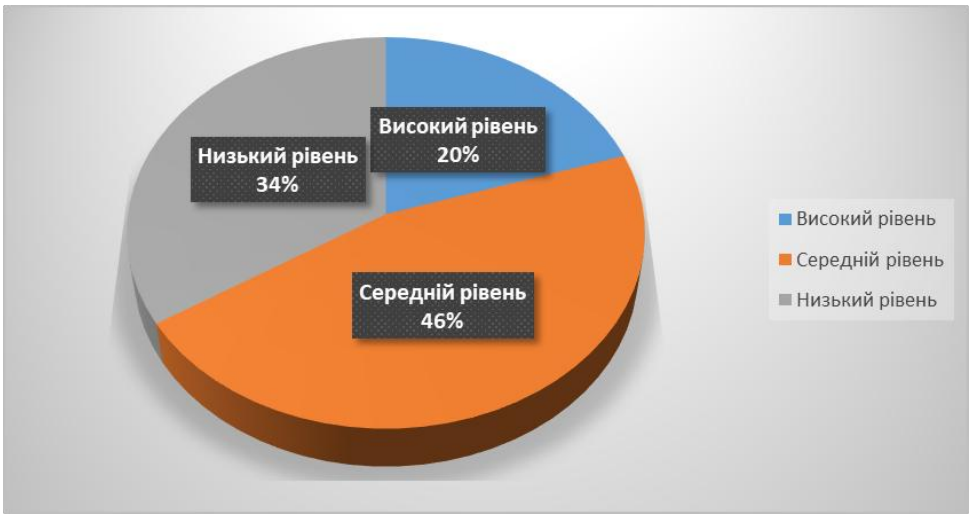


Рис 2.1. Рівні патріотичної вихованості за емоційним критерієм в КГ на констатувальному етапі

Для визначення рівня патріотичної вихованості серед старших дошкільників за когнітивним критерієм було проведено ряд дій, включаючи розповідь за картками «Державні символи України», бесіди на такі теми як «Що ти знаєш про українські традиції і звичаї?», «Рухливі народні ігри», «Народні символи-обереги, національний одяг, віночок», творчі завдання «Назви українську народну рухливу гру».

Підсумовуючи всі завдання когнітивного критерію, можна зазначити, що рівень розвитку патріотизму у дітей старшого дошкільного віку можна оцінити як середній (45% – ЕГ, 43% – КГ). Високий рівень показали 35%, – ЕГ, 34% – КГ, а низький рівень спостерігається у 20% – ЕГ, 21% КГ дітей (рис. 2.3., 2.4).

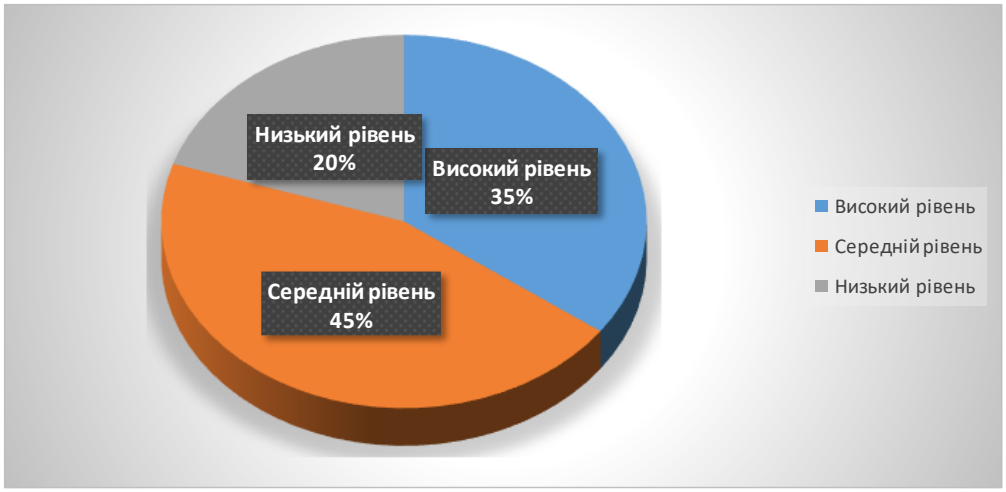


Рис 2.3. Рівень патріотичної вихованості за когнітивним критерієм в ЕГ на констатувальному етапі

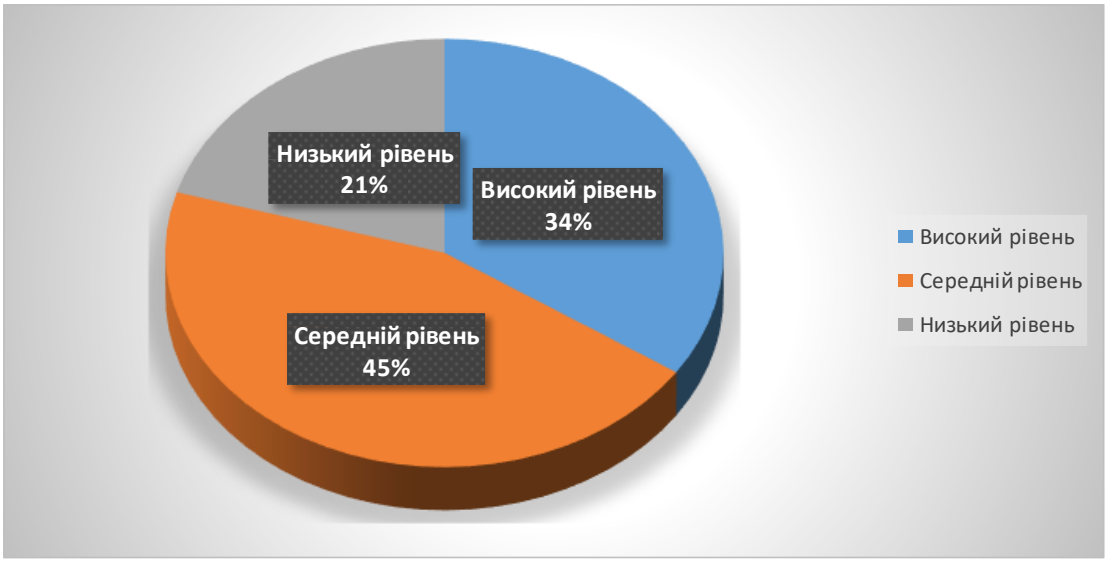


Рис 2.4. Рівень патріотичної вихованості за когнітивним критерієм в КГ на констатувальному етапі

Для оцінки рівня патріотичної вихованості у дітей старшого дошкільного віку через діяльнісний критерій були проведені спостереження їх поведінки під час різних ситуацій, таких як виховний захід, бесіда «Чи вважаєш ти себе патріотом?».

Спостереження під час виховного заходу «Гра-мандрівка», на якому діти поглиблювали знання про державні символи України, такі як прапор, герб і Державний Гімн, дозволили виявити, як діти реагують і ведуть себе під час звучання гімну та підняття українського прапора. Деякі діти були дуже активними та цікавились подіями на заході. Вони задавали питання вихователю про походження державних символів та активно взаємодіяли. Їхнє поводження при виконанні гімну і піднятті прапору відповідало правилам та знанням, які вони засвоїли.

Аналізуючи результати всіх завдань діяльнісного критерію, можемо зазначити, що у дітей старшого дошкільного віку рівень розвитку патріотизму є середнім (45% – ЕГ, 47% – КГ). Високий рівень патріотичної вихованості проявився у 25% – ЕГ, 23% – КГ дітей, але 30% дітей показали низький рівень патріотичної вихованості в обох групах (рис. 2.5, 2.6.).

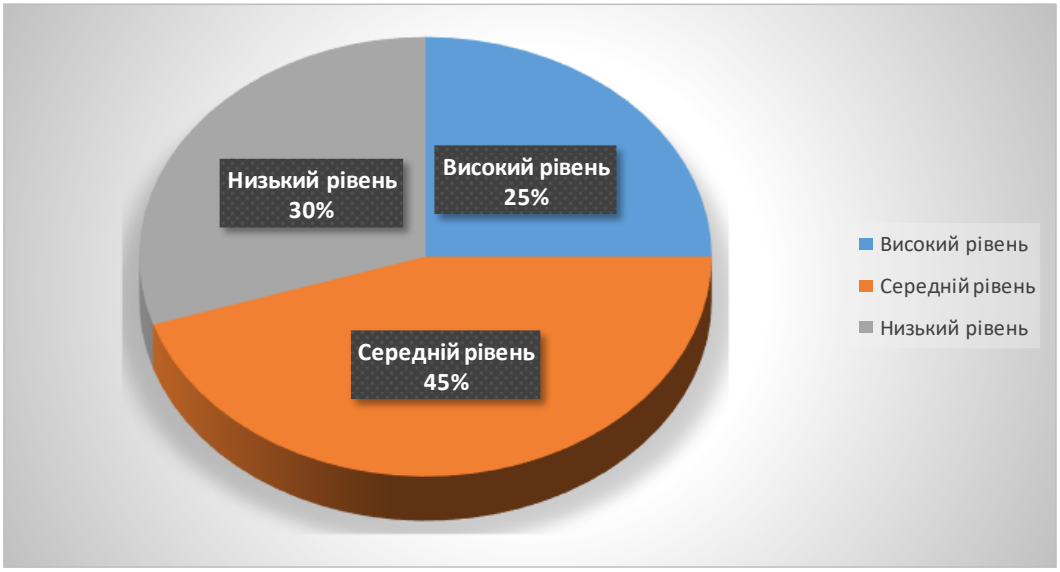


Рис 2.5. Рівень патріотичної вихованості за діяльнісним критерієм в ЕГ на констатувальному етапі

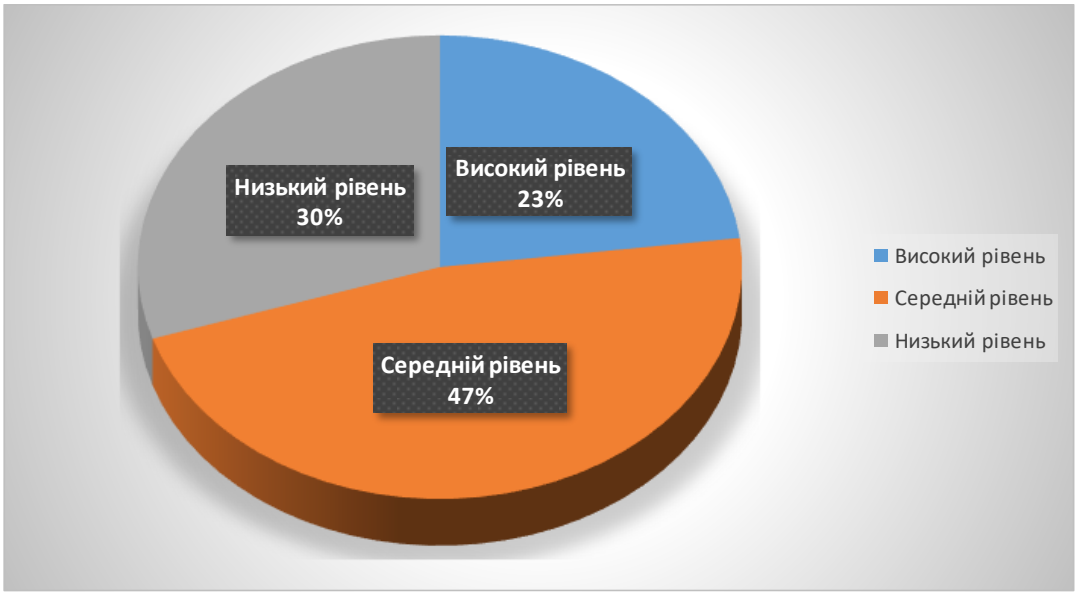


Рис 2.6. Рівень патріотичної вихованості за діяльнісним критерієм в КГ на констатувальному етапі

Отже, аналіз результатів дозволив зробити висновок, що рівень патріотичної вихованості у дітей переважно знаходиться на середньому рівні. Отримані результати на констатувальному етапі дослідження свідчать про недостатній рівень патріотичного виховання старших дошкільників, обмежене та фрагментарне використання народних рухливих ігор. Така ситуація вимагає проведення формувального етапу дослідження з дітьми експериментальної групи, в якому використовуватимуться народні рухливі ігри у процесі патріотичного виховання.

На формувальному етапі дослідження була розроблена та впроваджена система роботи з патріотичного виховання у дітей старшого дошкільного віку засобом української народної рухливої гри.

Перспективний план роботи з патріотичного виховання дітей експериментальної групи поданий у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Назва рухливої гри	*Мета проведення*	*Місце*
Кривий танець	ознайомити дітей з українськими обрядами	Спортивна зала
Горішок		Майданчик
Подоляночка		Спортивна зала
Горюдуб		Майданчик
Добери квітку до віночка	ознайомлення з українським національним оберегом та народними звичаями, традиціями	Майданчик
Чий вінок кращий?		Спортивна зала
Отамане	ознайомити дошкільників з устроєм козацького війська	Майданчик
Посвята в козачата	ознайомити дітей з побутом і традиціями козаків, їх відданість Батьківщині	Майданчик
Козацькі розваги		Майданчик

Перед проведенням ігор ми виконували попередню роботу: на заняттях з розвитку мовлення проводили бесіди на патріотичні теми, читали дітям художню літературу про козаків, про звичаї і обряди українського народу.

На початку гри, ми розповідали дітям про її походження. Наприклад, перед грою «Кривий танець» ми розповіли одну із версій походження гри: «Гра виникла у ті часи, коли на нашу країну нападали татари. В ті часи батьки вчили своїх дітей заплутувати свої сліди, якщо їм грозила небезпека від ворога. У цьому випадку чужинці не могли потрапити в село. У танку також імітується рух по кривій. В давнину діти водили «кривий» хоровод біля церкви на свято Благовіщення. Українці з особливою пошаною ставились до цього свята, вони вважали, що в цей день Бог благословляє всі рослини, тому працювати в цей день вважалося великим гріхом. Існувало повір'я, що на Благовіщення навіть птах не в'є собі гнізда. В цей день, вранці, діти виходили в поле до лелеки, показували їй освячений хліб і промовляли: «Лелека, лелека, на тобі хлібця, а ти нам – жита копу». А перед грою «Горюдуб» ми ознайомили дітей зі святом Івана Купала. Діти дізналися, що напередодні свята купальське дерево прикрашалося вінками, квітами, стрічками, увечері біля нього розкладали вогнище з дубових гілок і хлопці в парах із дівчатами перестрибували через нього. Вважалося, що таким чином вони очищалися вогнем, оскільки українці вірили, що вогонь очищає душу від усього злого й наділяє тіло силою та здоров'ям. Саме тому цей обряд проводили перед жнивами».

Особливо цікавими для дітей були ігри, пов'язані з козаками: устроєм козацького війська, їх побутом, традиціями, відданістю народу. Діти заздалегідь готувалися до проведення ігор «Отамане», «Посвята в козачата», «Козацькі розваги». Діти навчилися читати карти, орієнтуватися на місцевості, крокувати

під музичний супровід, стали більше приділяти уваги своєму здоров'ю: щоденно виконувати ранкову гімнастику, намагалися правильно виконувати загально-розвиваючи вправи – так вони готувалися до посвячення у козачата. Крім цього, діти вивчили козацькі танці («Повзунець», «Танок з шаблями», «Танець маленьких козачат» тощо), пісні («Я – маленький козак», «Ми – козаки», «Гей, там на горі Сич іде», «Ой на горі та женці жнуть», «Розпрягайте, хлопці, коні» та інші), загадки про козаків (Береженого бог береже, а козака шабля стереже; де козак, там і слава; козацькому роду нема переводу тощо).

Під час проведення української народної рухливої гри «Посвята в козачата» хлопчики виконували вправи з шаблями, а дівчатка вправи з віночком, грали у народну рухливу гру «Їду, їду». Провели естафети «Козаки тікають з полону», «Зваримо борщик», «Перетягування канату», на завершенні свята виконали пісню «Я маленький козак».

Рухливі народні ігри ми включили і в спортивне свято «Здоровому роду – нема переводу», метою якого було закріплення знання дітей про козаків, Запорізьку Січ, а також формування уявлень дошкільників про те, що вони мужні, сильні, справедливі, захисники Вітчизни, виховання бажання бути схожими на українських героїв-козаків.

Для проведення свята нами були залучені батьки дітей. Діти повинні були розпитати батьків про козаків, про Запорізьку Січ, про ігри, в які грали їх діти, які пісні співали; якщо дома були старовинні речі – принести їх до садочка на свято. Під час проведення дня здоров'я дошкільники провели спортивне свято «Козацькому роду нема переводу», побудували «Запорізьку Січ», провели рухливі ігри «Захист фортеці», «Отамане», «Бій півнів», «Перетягування бука» та інші.

Отже, ми за допомогою українських народних рухливих ігор намагалися підвищити рівень патріотичної вихованості у старших дошкільників, цьому сприяв і зміст підібраних ігор і попередньо проведена робота.

Створення розвивально-ігрового середовища в групі дітей старшого дошкільного віку національного змісту передбачало організацію куточку державної символіки, щоб усі вони розміщені у світлому, зручному для огляду місті, візуально відокремленого від інших ігрових центрів. В куточках розміщений герб, прапор, текст гімну України, народознавчі куточки, де зібраний матеріал: народна іграшка, посуд, українські рушники, елементи українського одягу, українська вишивка, в наявності художня література українських письменників та поетів тощо («Державні символи України», «Народне вбрання», «Рідна Україна», лото «Моя країна»). Особливо заслуговує на увагу естетичність оформлення національного куточка, добірка українських народних рухливих ігор патріотичного змісту та атрибутів до цих ігор тощо.

Вихователями груп спільно з батьками проведена велика робота щодо оформлення осередків та виготовлення атрибутів. Атрибути та ігрове обладнання безпечне, естетичне, акуратно зберігається. Така організація предметно-ігрового розвивального середовища дає дітям змогу закріплювати набуті знання в

самостійній ігровій та продуктивній діяльності, обираючи улюблені ігри та заняття.

Ефективною роботою у системі виховання патріотичних почуттів у дітей була педагогічна просвіта батьків (індивідуальні консультації, бесіди, ознайомлення з науково-методичною літературою, круглі столи, сумісні заходи з дітьми тощо) з метою привернення їхньої уваги до патріотичного виховання дітей та значення української народної рухливої гри в цьому процесі.

Після завершення формувального етапу нашого дослідження, ми перейшли до контрольного етапу. Під час проведення контрольного етапу ми ставили перед собою такі завдання: повторно діагностувати дітей за допомогою тих же самих діагностичних матеріалів, які використовувались на початковому етапі, а потім порівняти отримані результати з попередніми. Розглянемо тримані результати контрольного етапу за трьома критеріями: емоційним, когнітивним та діяльнісним, які наведені у таблтці 2.3.

Таблиця 2.3

Критерії	**Рівні**	**ЕГ %**		**Зміни (+, -)**	**КГ %**		**Зміни (+, -)**
		Конст. етап	**Контр. етап**		**Конст. етап**	**Контр. етап**	
Емоційний	Високий	18	28	+10	20	20	-
	Середній	48	58	+10	46	53	+7
	Низький	34	14	-20	34	27	-7
Когнітивний	Високий	35	40	+5	34	34	-
	Середній	45	52	+7	45	48	+3
	Низький	20	8	-12	21	18	-3
Діяльнісний	Високий	25	40	+15	23	26	+3
	Середній	45	46	+1	47	46	-1
	Низький	30	14	-16	30	28	-2

Аналіз результатів проведеного дослідження засвідчив, що після розробленої системи роботи, відбулися позитивні зміни у дітей експериментальної групи високий рівень патріотичної вихованості за емоційним критерієм зріс на 10%; середній рівень підвищився на 10%; низький рівень зменшився на 20%. За когнітивним критерієм високий рівень вихованості підвищився на 5%, середній рівень підвищився на 7%; кількість дітей з низьким рівнем зменшилась на 12%. За діяльнісним критерієм високий рівень в ЕГ збільшився на 15%; середній рівень підвищився на 1%; кількість дітей з низьким рівнем зменшилась на 16%.

Отримані результати дослідження засвідчують, що визначені завдання дослідження реалізовано, мету досягнуто.Після проведеного дослідження можна

зробити висновок, що розроблена нами система роботи з патріотичного виховання у дітей старшого дошкільного віку виявилася ефективною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аркуша Н. М. Патріотичне виховання дошкільнят засобами дитячого музичного фольклору. *Таврійський вісник освіти*. 2016. № 1. С. 71–81.

2. Базовий компонент дошкільної освіти (нова редакція). URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2021/12.01/Pro_novu_redaktsiyu%20Bazovoho%20komponenta%20doshkilnoyi%20osvity.pdf (2021).

3. Бардакова Є. Народні ігри. Для дітей дошкільного та молодшого шкільного віку. Харків : Вид. група «Основа», 2007. 96 с.

4. Бех І. Д., Чорна К. І. Національна ідея в становленні громадянина-патріота України (програмно-виховний контекст). Черкаси : ІПВ АПН України. 39 с.

5. Бєлєнька Г. Пізнавати світ допомагають народні ігри. *Початкова освіта*. 2008. № 6. С. 7–9.

6. Богуш А. М. Українське народознавство в дошкільному закладі : навч. посіб. для студ. вищ. пед. навч. закладів. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Вища школа, 2002. 407 с.

7. Богуш А., Лисенко Н. Українське народознавство в дошкільному закладі : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1994.

8. Борисова Н. А. Патріотичне виховання дітей дошкільного віку. *Таврійський вісник освіти*. 2017. № 1. С. 53–59.

9. Гавриш Н. Зміна підходів до національно-патріотичного виховання: досвід дошкільного виховання. *Дошкільне виховання.* 2018. № 10. С. 2–10.

10. Гребінченко З. Нема без кореня рослини, а нас, людей, – без Батьківщини. Комплексне заняття для дошкільників. *Дошкільне виховання*. 2004. № 8. С. 20–21.

11. Дем'янюк Т., Мельничук Л., Байрамова М. Духовно-моральне виховання особистості: інноваційний підхід. *Позакласний час*. 2018. № 11. С. 10–20.

12. Денисюк О. М. Формування уявлень у дітей старшого дошкільного віку про історію України : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.01. Київ, 2000. 20 с.

13. Єпіхіна М. А., Курило Н. О. Формування основ патріотичного виховання у дошкільників засобами народознавства. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота*. 2017. Вип. 1 (40). С. 96–99.

14. Конституція України : Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 28.09.2026).

15. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 28.09.2026).

16. Про дошкільну освіту : Закон України від 06.06.2024 № 3788-IX. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3788-20 (дата звернення: 28.09.2026).

17. Про деякі питання національно-патріотичного виховання в закладах освіти України та визнання таким, що втратив чинність, наказу Міністерства освіти і науки України від 16.06.2015 № 641 : наказ Міністерства освіти і науки України від 06.06.2022 № 527. URL: https://mon.gov.ua/npa/pro-deyaki-pitannya-nacionalno-patriotichnogo-vihovannya-v-zakladah-osviti-ukrayini-ta-viznannya-takim-sho-vtrativ-chinnist-nakazu-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini-vid-16062015-641 (дата звернення: 28.09.2026).

18. Кротюк В. А. Сучасні концепції дослідження патріотизму. *Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого». Серія: Філософія, філософія права, політологія, соціологія.* 2013. № 5 (19). С. 52–58.

19. Курчатова А. В. Підготовка майбутніх вихователів до патріотичного виховання дітей старшого дошкільного віку засобами краєзнавства. *Збірник наукових праць Херсонського державного університету. Серія: Педагогічні науки*. 2018. № 81 (1). С. 174–178.

20. Кущова Т. М. Патріотичне виховання дітей дошкільного віку : методичні рекомендації. Харків : Великобурлуцький ДНЗ «Сонечко», 2016. 69 с.

21. Литвин І. М., Нікішенко Г. В. Національно-патріотичне виховання в логопедичній роботі дошкільного закладу : науково-методичний посібник. Черкаси : КНЗ «ЧОІПОПП ЧОР», 2017. 77 с.

22. Машовець М. А. Національно-патріотичне виховання дітей дошкільного віку в сучасних умовах розвитку суспільства. *Вісник Інституту розвитку дитини*. 2009. Вип. 5. С. 125–130.

23. Мусієнко В. С. Формування почуття патріотизму в дітей у дошкільних навчальних закладах України : дис. … канд. пед. наук : 13.00.01. Тернопіль, 2007. 324 с.

24. Нестеренко Т. Формування морального становлення громадянина України. *Позакласний час*. 2006. № 1–2. С. 2–6.

25. Полєвікова О. Б., Шурда Ж. І. Дослідження проблеми патріотичного виховання дітей у сучасному просторі дошкільної освіти України. *Advances of Science : Proceedings of Articles the International Scientific Conference*. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 28 September 2018. С. 340–348.

26. Шкребтієнко Л. П. Виховання патріотичних почуттів у дітей старшого дошкільного віку засобами художньої літератури : дис. … канд. пед. наук : 13.00.08. Одеса, 2019. 298 с.

CHAPTER 4. MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF LINGUISTICS AND PHILOLOGY

4.1. Semantic Relevance as a Diagnostic Criterion of Resemanticization

Conceptual and Methodological Foundations of the Study

Introduction. Semantic change is a well-established object of linguistic inquiry; however, the units of description and the boundaries of individual processes depend substantially on the theoretical approach adopted. Broadening and narrowing of meaning, metaphorical and metonymic transfer, the emergence of new meanings, reinterpretation, contextual actualisation, and polysemisation may overlap in the same empirical material while addressing different analytical questions. Against this background, the term *resemanticization / resémantisation* is particularly revealing: it is used to designate processes operating at different levels, from changes in the status of semantic components in a text to the restructuring of grammatically relevant features and the discursive redefinition of a term.

The initial difficulty is that a feature recurring across different uses of the term is not necessarily a distinctive one, since it may characterise semantic change more generally. The study therefore distinguishes between reconstructing cross-theoretical similarities and examining the conditions under which the identified parameter may perform a diagnostic function. Only the latter step makes it possible to assess semantic relevance as a potential diagnostic criterion.

Current State of Research. Diachronic semantics offers different ways of conceptualising semantic change. D. Geeraerts describes semantic change in terms of changes in the semasiological structure of lexical items and in the relations between more central and more peripheral senses (Geeraerts 1997). E. C. Traugott and R. B. Dasher show how pragmatically inferred interpretations may spread and become conventionalised (Traugott and Dasher 2002).

A distinct line of research is represented by contemporary computational studies of lexical semantic change. The works of N. Tahmasebi, L. Borin, A. Jatowt, and S. Hengchen and colleagues systematise computational methods for modelling and detecting lexical semantic change in diachronic language data and discuss problems of evaluation and comparability of results (Tahmasebi, Borin, and Jatowt 2021; Hengchen et al. 2021). For the purposes of the present article, this body of research is methodologically, but not theoretically, important: computational evidence that usage distributions have changed does not yet explain the type of relation between the preceding and the new semantic configuration. Computational approaches are therefore used as a background for distinguishing between the task of detecting change and that of its conceptual characterisation.

The concept of *resemanticization* is less firmly established within this field. In some studies, it denotes the restoration or reactivation of weakened semantic content; in others, new semantic motivation for grammatical choice; and in still others, the successive redefinition of discursively established meanings. This makes the different

uses of the concept suitable material for metatheoretical comparison, while at the same time creating a risk that its content may become blurred to the point of serving as a loose designation for any "new meaning". The research gap therefore lies not in the absence of engagement with the concept of resemanticization, but in the insufficient clarity of the conditions under which its use has independent analytical value.

The aim of the study is to compare several theoretically distinct uses of the concept of resemanticization and to formulate and operationalise the analytical hypothesis that semantic relevance can function as a diagnostic criterion. The hypothesis does not prescribe a "correct" use of the concept to other theoretical traditions; rather, it specifies the conditions under which the identified parameter has independent analytical value in the description of semantic change.

Materials and methods. The study is comparative-conceptual and metatheoretical in character. The source base was assembled through purposive sampling using the variants *resemanticization, resémantisation, ressemantização,* and *ресемантизація*, followed by citation-based tracing of the works referenced in the selected sources. It does not claim the status of a systematic review and is not used to draw quantitative conclusions about the prevalence of the term. For each model, the analysis reconstructs: (1) the object of change and its initial semantic configuration, S_1; (2) the mechanism of transformation; (3) the relation of the new state, S_2, to the preceding one; (4) the function of the component *re-*; and (5) changes in the functional participation of semantic material. The notations S_1 and S_2 are part of the metalanguage of comparison rather than categories necessarily employed in the primary sources.

Main body. The main body of material comprises four independent lines of analysis: A. J. Greimas and J. Courtés; F. Rastier; J. Audring; and M. H. Liisberg. The work of Z. Camus is considered separately as a contemporary theoretical refinement of discursive resemanticization rather than as part of a putative unified Camus–Liisberg model. The studies by L. De Vos, G. De Sutter, and G. De Vogelaer, as well as by K. Doreleijers, J. van Craenenbroeck, and M. van Koppen, are used as an empirical continuation of the line associated with J. Audring, but are not treated as the source of the concept itself. The interdisciplinary model proposed by A. Alejandro and J. Feldman is introduced as an external contrastive case in order to justify restricting the scope of the criterion to linguistic objects.

The selection of models is not intended as a history of the concept, nor does it presuppose a line of direct theoretical inheritance between them. On the contrary, the analytical value of the material lies in its heterogeneity. The structural-semiotic model deals with partial semantic content within a discursive unit; interpretive semantics with changes in the status of semes in the process of interpretation; the grammatical line with factors governing form selection; and the discursive line with sequences of semantic programmes. If the same parameter can be reconstructed across such differences in objects and scales of analysis, this provides a basis for metatheoretical comparison, while at the same time requiring particular caution in distinguishing a shared parameter from identity of mechanisms.

This organisation of the study also determines the limits of the conclusions that can be drawn. The aim is not to establish the "correct" meaning of resemanticization across all traditions, still less to replace existing authorial definitions with a single normative one. A narrower claim is formulated: whether it is possible to identify a relation that has independent analytical value across a range of heterogeneous cases and at the same time makes it possible to distinguish them from at least some related processes. This is why the comparison relies on authorial uses of the concept as they are, although their scope may not coincide with that of the analytical hypothesis proposed here.

Theoretical Approaches to Resemanticization

In the semiotic dictionary by A. J. Greimas and J. Courtés, desemantization and resemanticization form a correlative pair. Desemantization is defined as the loss of certain partial contents in favour of the overall signified of a larger discursive unit, whereas resemanticization is treated as the reverse operation, through which previously lost partial contents recover their original semantic value (Greimas and Courtés 1982, 75–76, 263). As an example, A. J. Greimas and J. Courtés refer to the form of address *Mister* in G. de Maupassant's *Two Friends*. At the beginning of the story, it marks the ordinary social status of the characters Sauvage and Morissot and is therefore treated as desemanticized; at the end, the same form is used as a sign of recognition of their human worth. In the terms of the present analysis, this may be interpreted as the restoration of the functional effectiveness of previously weakened content (Greimas and Courtés 1982, 263).

This case is important for two reasons. First, "restoration" does not imply the literal return of a meaning that had disappeared completely: the content remains available, but its role in interpretation has been weakened. Second, the result may be local and text-specific. Accordingly, the requirement of a structural consequence should not be equated with diachronic stability. In textual semantics, a change in the relations within a particular interpretative configuration may already be considered structural if it reorganises the meaning of the whole.

The semiotic model thus makes it possible to distinguish between the presence of partial semantic content and its independent semantic function within a larger discursive unit. In desemantization, such content loses its own semantic value in favour of the overall signified of the whole; in resemanticization, this value is restored. Resemanticization does not create content *ex nihilo* but restores its capacity to participate in the construction of meaning. This distinction later proves productive for comparison with other theories: in each case, it is necessary to ask not only whether a particular piece of semantic material is present, but also what role it actually plays in organising interpretation or form selection.

In F. Rastier's work, resemanticization is considered in connection with *défigement*, that is, the contextual transformation of a lexia whose interpretation has become fixed. At the semantic level, *figement* means that the words constituting a complex lexia lack contextual autonomy: the interpretative path assigns meaning to the lexia as a whole

rather than to its individual components. *Défigement*, by contrast, makes an analytical interpretation possible and changes the interpretative status of the components of the lexia (Rastier 1997). Importantly, Rastier explicitly restricts the scope of *défigement*: for it to occur in the strict sense, the synthetic interpretation of the relevant expression must be the only one ordinarily attested. The mere availability of an alternative analytical interpretation does not in itself constitute *défigement*. The new interpretation must therefore arise against the background of a previously established interpretative norm rather than simply being one of several ordinary alternatives. In this respect, Rastier's approach is close to the model of A. J. Greimas and J. Courtés, although the mechanism is described not through the correlation of two dictionary operations but through a change in the interpretative status of semes and the contextual construction of meaning.

The example of J. Brel's *anonyme société* is particularly revealing. F. Rastier explicitly characterises it as the resemanticization of the lexia *société anonyme* through inversion. The unusual preposing of the adjective functions as an interpretant that actualises a moral rather than a legal interpretation of *anonyme*; correlatively, *société* acquires a sociological rather than an economic sense (Rastier 1997). In this case, the new interpretation depends on the pre-existing fixed lexia and on the morphosyntactic transformation that conditions a different organisation of interpretation. Its difference from an arbitrary occasional interpretation therefore lies not in greater expressiveness, but in its structural dependence on the preceding synthetic interpretation. At the same time, Rastier does not equate *défigement* with resemanticization. He explicitly states that the propagation of semantic features through the presumption of isotopy acts as a factor of resemanticization and, consequently, of *défigement*: it is not *défigement* that leads to resemanticization; rather, semantic activity and resemanticization give rise to *défigement*.

Rastier's account shows particularly clearly why a local textual effect cannot automatically be equated with accidental contextual variation. *Défigement* presupposes the dependence of the new interpretation on an already established configuration: the transformation of the original lexia creates the conditions for an analytical interpretation of its components and for a change in their semantic status. What is diagnostically significant, therefore, is not the unusual character of the expression as such, but the structural dependence of the new interpretation on the preceding synthetic interpretation. It is this dependence that makes it possible to include textual cases within the general comparative scheme without requiring diachronic stabilisation.

In studies of pronominal gender, J. Audring deals with a fundamentally different object of analysis. She explicitly characterises the emergence of a new semantic system of pronominal gender as a case of *resemanticization* and, following Wurzel, proposes the term for the new functionality of personal pronouns (Audring 2009, 132–133). Against the background of the erosion of earlier gender distinctions in the attributive domain, pronoun forms acquire a new semantic function: feminine pronouns signal female personhood, masculine pronouns indicate that the referent is male or countable, and pronoun distribution as a whole becomes sensitive to such parameters as boundedness, countability, and degree of individuation of the referent (Audring 2009, 132–134). The

component *re-* is not associated here with the return of a particular earlier meaning. Rather, what is involved is a redistribution of functions within the system of pronominal gender: earlier formal distinctions weaken, while semantic properties of the referent begin to participate systematically in pronoun choice. In the terms of the present study, this can be interpreted as a change in the functional role of semantic information within the agreement system. Audring regards this resemanticization as a possible reaction to the erosion of gender distinctions in the attributive domain. When speakers lost knowledge of the former masculine and feminine genders, they also lost the original system that governed pronoun usage, opening the way for a redistribution of pronominal genders on semantic grounds (Audring 2009, 133).

Subsequent studies confirm the systematic character of this shift, while remaining methodologically distinct from Audring's original model. L. De Vos, G. De Sutter, and G. De Vogelaer (2021) examine psycholinguistic and social factors affecting the choice between semantic and lexical agreement, while K. Doreleijers, J. van Craenenbroeck, and M. van Koppen (2025) identify an apparent-time change: younger speakers show a stronger preference for semantic rather than lexical agreement. These studies provide empirical support for a change in the principle governing form selection, but they do not constitute independent theories of resemanticization.

The grammatical line is particularly important for testing whether *resemanticization* can be reduced to the restoration of a previously weakened lexical meaning. In the system of pronominal gender, a different type of transformation is involved: the semantic properties of the referent were already available to the speaker, but their relative contribution to form selection changes. The object of change is therefore not the meaning of an individual unit, but the principle governing the distribution of factors within the grammatical system. This case is important precisely because resemanticization is not associated here with the return of previously lost semantic content. The change affects the functioning of an already existing system: semantic properties of the referent acquire a different role in pronoun choice.

In M. H. Liisberg's work, the unit of analysis is the discursive history of a term. Using the Danish term *byudvikling* as her material, she compares polysemy, polyphony, and *resémantisation*, showing how successive discursive interventions in a social conflict redefine the possible meanings of a term and the relations between them (Liisberg 2025). Liisberg distinguishes three mechanisms of resemanticization: *réfutatif, multipliant,* and *prolongeant*. Here, resemanticization designates the dynamics of transformation of an already semantised term rather than the mere coexistence of several meanings.

For M. H. Liisberg, the distinction between a state of semantic multiplicity and the process by which it is transformed is fundamental. Polysemy registers the presence of several meanings, whereas *resémantisation* describes a sequence of discursive interventions in an already existing semantic organisation. A new programme does not merely add another meaning: a discursive utterance acts upon already established programmes through operations of naturalisation, investment, or combat, thereby altering their stability and productivity within the semantic space of the conflict. The

functional effect therefore emerges through temporal and discursive sequencing rather than through a single local use.

Z. Camus's (2025) work is considered alongside M. H. Liisberg's discursive approach, but as an independent conceptualisation. Drawing on material from political assemblies, Camus describes the discursive-semantic mechanism of *ressemantização quadrada* (*square resemanticization*), in which an antagonistic relation is established between programmes within a single semantic configuration: one is weakened while the other is strengthened. This transformation affects the possibilities for subsequent discourse, making some positions easier and others more difficult to mobilise. Its similarity to Liisberg's approach lies in the analysis of changes in the functional strength of already existing semantic structures; the difference lies in the unit of analysis and the conceptual apparatus.

The interdisciplinary concept developed by A. Alejandro and J. Feldman extends resemanticization beyond linguistic units. The authors define resemanticization as a process through which social agents reconfigure the meaning of a physical or symbolic object by privileging a new meaning over previous meanings. Their central case is the resemanticization of male circumcision from a religious and ritual practice into a medical procedure and an element of human immunodeficiency virus (HIV) prevention policy (Alejandro and Feldman 2024). In the present study, this model is used as an external contrastive case. It shows that a relation structurally similar to that found in linguistic cases — continuity of the same object combined with the privileging of a new meaning over previous ones — can also occur outside language. Its methodological function is therefore to motivate the need to restrict the proposed criterion to linguistic objects.

This model is methodologically useful for establishing the limits of applicability of the proposed criterion. It displays a relation similar to that found in the linguistic cases: the same object retains historical continuity while a new meaning is privileged relative to preceding ones. Extending the object to a social practice, however, shows that this relation alone is insufficient for linguistic qualification. The linguistic nature of the object must therefore be specified as a separate condition limiting the criterion's domain of application.

The comparison shows that restoration, contextual reactivation, redistribution of semantic factors in grammatical choice, and discursive strengthening or weakening do not constitute a single mechanism. What they share is a more abstract relation: the object already possesses a semantic organisation, while its subsequent state depends on a change in the participation of previously available semantic material. At this level, the hypothesis of semantic relevance emerges; its discriminating power requires separate testing.

The function of the component *re-* also differs across these models. In A. J. Greimas and J. Courtés, it retains a sense of return: reduced partial content once again acquires semantic value. In F. Rastier, repetition is associated with the reactivation of material whose role has been weakened by a fixed configuration. In J. Audring, it concerns renewed semantic motivation of choice within an already existing

grammatical system. In M. H. Liisberg, it refers to successive operations on an already semantised term. The component *re-* therefore cannot serve as etymological evidence for a common mechanism; its function must be reconstructed separately within each model.

This comparison also sets the limits of a general definition. If resemanticization is reduced to the literal "return of meaning," the grammatical and discursive material falls outside the analysis; if every secondary semantic operation is treated as resemanticization, the concept becomes almost unrestricted. The common basis remains subsequent work on an already semantised object, but this acquires diagnostic significance only when the change has an observable functional consequence.

This leads to another important distinction: that between the minimal shared content of the concept and its discriminating function. The fact that several traditions describe subsequent work on already semantised material explains why they can be compared, but does not demonstrate that such work is specific to resemanticization. A substantial part of ordinary semantic change likewise preserves continuity between states and depends on a preceding meaning. The central question, therefore, is not how to identify an even more abstract common denominator, but under what additional condition the term begins to convey something beyond the mere observation of semantic change. In the present study, this additional condition is taken to be a change in semantic relevance.

This move avoids two symmetrical reductions. The first would reduce resemanticization to restoration: the Greimas–Courtés model would then become a de facto normative template, while the grammatical and discursive approaches would appear peripheral or terminologically inappropriate. The second would dissolve the concept into any form of semantic novelty: the emergence of an additional meaning, a new context, or a renaming would be sufficient. Cross-theoretical comparison shows that both strategies are too coarse. The relevant distinction is not between "return" and "novelty" as such, but between a change in the inventory of available meanings and a change in their functional participation.

Table 1. Comparative Analysis of Theoretical Models of Resemanticization

Theoretical approach (model)	Object / S_1	Transformation	Relation of S_2 to S_1	Function of *re-*	Functional consequence
Structural-semiotic approach	Partial content units previously lost for the benefit of the overall signified of a larger discursive unit	Restoration of semantic value	In S_2, previously lost partial contents once again acquire their initial semantic value	Return / restoration of previously lost semantic value	Weakened content once again participates in constructing the meaning of the whole
Interpretive semantics	Complex lexia with an ordinarily attested	Défigement: transition from a synthetic to	The analytical reading S_2 arises relative to the fixed synthetic	Reactivation / resemanticization of components	The status of semes and their participation in interpretation

Theoretical approach (model)	**Object / S_1**	**Transformation**	**Relation of S_2 to S_1**	**Function of *re-***	**Functional consequence**
	synthetic interpretation	an analytical interpretation	reading S_1	within a new interpretative configuration	change
Grammatical model of pronominal-gender resemanticization	Pronominal gender system against the background of erosion of gender distinctions in the attributive domain	New semantic functionality of personal pronouns	The new system of pronoun use may be regarded as a reaction to the erosion of earlier gender distinctions	New semantic functionality of already existing pronominal forms	Semantic properties of the referent become systematic factors in the pronoun choice and distribution
Discourse-semantic model (Liisberg's discourse-semantic approach)	A term and competing semantic programmes	Successive discursive interventions in semantic programmes	New programmes relate to an already semantised term	Successive operations upon an already semantised term	The stability and productivity of semantic programmes in subsequent discourse change
Discursive model of resemanticization (Camus's discursive-semantic model of square resemanticisation)	Discursively organised meanings	Establishment of an antagonistic relation between semantic programmes, with one weakened and another strengthened	The new state is related to the preceding semantic organisation	Redefinition of an already existing semantic organisation in discourse	The accessibility of subsequent discursive continuations changes: some programmes become easier and others harder to mobilise

Table 1 systematises the comparison according to the five parameters specified in the methodology: the object and initial configuration, the type of transformation, the relation of S_2 to S_1, the function of *re-*, and the change in the functional role of semantic material. The comparison does not presuppose identity of mechanisms; its purpose is to identify the level at which heterogeneous linguistic models permit metatheoretical comparison.

The comparison of the linguistic models identifies a recurrent relation between an already semantised object and a subsequent change in the functional participation of semantic material. This relation, however, does not by itself determine the linguistic domain of the concept. The interdisciplinary model proposed by A. Alejandro and J. Feldman provides an external contrast: a structurally similar relation can also arise when the object is a social practice rather than a linguistic unit. The comparison therefore motivates a preliminary restriction on the type of object to which the proposed criterion can apply.

Semantic Relevance: Definition and Operationalisation

Semantic relevance is understood in the present study as the degree of functional participation of an already available meaning, semantic component, or relation in the organisation of interpretation, the choice of linguistic form, or subsequent discursive functioning. The term is not used in the technical sense of D. Sperber and D. Wilson's Relevance Theory; reference to that theory serves only to distinguish between different terminological uses (Sperber and Wilson 1995). What is diagnostically significant is neither the mere presence of semantic content nor its subjective "importance," but a change in its functional participation between S_1 and S_2.

The concepts of semantic relevance and functional role are not synonymous. Semantic relevance denotes the relation being compared across states, whereas functional role refers to the specific mode in which semantic material participates at a particular level of analysis. F. Rastier's semes, J. Audring's referential properties, and M. H. Liisberg's semantic programmes belong to different theoretical levels; what is comparable is not their nature, but the change in functional role through which a change in semantic relevance is manifested at each level.

This understanding makes it possible to preserve the theoretical heterogeneity of the models under comparison. Semes, referential properties, lexical meanings, and semantic programmes are not treated as units of the same type and therefore cannot be assigned a single quantitative scale. What is compared is not the degree of dependence of S_2 on S_1 — this is established at the level of C2 — but the presence of a functional consequence of the change at the relevant level of analysis. The specific indicators of such a consequence are defined by the level-specific operationalisation presented in Table 2. Semantic relevance thus functions not as a new ontological category, but as a metatheoretical parameter of comparison.

The criterion is fundamentally distinct from simple actualisation. A semantic component may become salient in a particular context without changing its functional relations to other components; a new meaning may become frequent without altering the functional organisation of the relevant system; a discursive formula may undergo a striking reinterpretation that has no effect on subsequent uses. In all such cases, the change in content or salience is real, but C3 is not considered demonstrated. A positive qualification requires a functional consequence at the level at which the object of analysis is defined: a restructuring of interpretative dependencies, a change in the distribution of meanings, a change in the factors governing form selection, or a change in the possibilities for subsequent discursive continuation.

The diagnostic criterion is applied under three applicability conditions (C0–C2). C0 defines the domain of inquiry: the object must be a linguistic unit, category, agreement system, or discursively functioning term. C1 requires analytical continuity of object A between states S_1 and S_2: the comparison must concern two states of the same object rather than a new sign with an independent conventional history. C2 requires the constitutive dependence of S_2 on the preceding semantic organisation. Once these applicability conditions are satisfied, C3 provides the diagnostic criterion: it asks whether the change produces an observable functional consequence at the relevant

level of analysis. Once C0–C2 are satisfied, C3 is assessed as the diagnostic criterion of a change in semantic relevance. C3 is considered demonstrated only when a level-specific functional consequence is identified, that is, when the change affects how previously available semantic material participates in interpretation, form selection, or subsequent discursive continuation. This consequence must go beyond the mere emergence, frequency, or contextual salience of a new meaning and correspond to the indicators established for the relevant level of analysis.

The burden of proof lies with a positive qualification. If C0–C2 are satisfied but the level-specific functional consequence is not demonstrated, the result is recorded as **"C3** not demonstrated", rather than as a claim that no change exists at all. Within the present hypothesis, such a case does not receive a positive qualification as resemanticization. This rule distinguishes absence of evidence from demonstrated absence while at the same time making the criterion testable.

At the textual level, the singularity of a case does not in itself exclude functional reorganisation; however, a positive qualification requires the reconstruction of the preceding interpretative norm. In F. Rastier's model, *défigement* presupposes that the synthetic reading of a lexia is ordinarily the established one, whereas a particular context creates the conditions for an analytical reading and for a redistribution of semantic relations among its components. The threshold is therefore set differently at this level. C2 requires the new reading to be constitutively dependent on the previously established configuration, while C3 requires a demonstrable change in the functional relations within the text or the fixed expression. The case of *anonyme société* therefore corresponds to these diagnostic conditions more closely than an arbitrary ironic reading, because the new interpretation depends structurally on the inversion of the established lexia *société anonyme*. At systemic and diachronic levels, by contrast, a single context is insufficient: the functional consequence must be observable in the distribution of forms, meanings, or subsequent discursive continuations.

The local-interpretive and systemic-diachronic modes thus differ not in the presence or absence of C3, but in the type of evidence required. In the former, functional reorganisation is reconstructed within a text or an established expression; in the latter, it is demonstrated through stable distributional or discursive consequences. This preserves the comparability of the models without requiring them to follow the same empirical procedure.

Table 2. Indicators of the Diagnostic Criterion at Different Levels of Analysis

Level	C3 is considered demonstrated if…	Insufficient for C3
Text / fixed expression	Reactivation of previously reduced or virtualised material changes the functional relations within the interpretation of the whole	A metaphorical, ironic, or other occasional reading by itself
Lexical semantics	The relative organisation of meanings changes: their centrality, interpretative preference, compatibility constraints, or potential for further semantic development	The simple addition of a new meaning while the previous functional organisation is retained
Grammar	The contribution of semantic features to form selection changes, as reflected in the	Semantic motivation without a change in its role in form

	distribution of variants or in the strength of the relevant factors	selection
Discourse	The capacity of a semantic programme to shape subsequent discursive possibilities changes, including its stability, productivity, or ease of mobilisation	A one-off renaming or new formulation without consequences for the subsequent organisation of discourse

Boundaries of the Concept and Its Relation to Adjacent Processes

Novelty of meaning, contextual salience, and the fact of reinterpretation are not equivalent to C3. Polysemy describes the coexistence of meanings, innovation the emergence of a new use, and reinterpretation a change in the way something is understood. None of these notions by itself shows that the functional organisation of previously available material has changed. The criterion therefore does not replace adjacent categories; it poses an additional question about their outcome.

The comparison with innovation and reinterpretation is particularly revealing in this respect. An innovation may be identified at the moment an unusual use emerges, before it is clear whether that use will affect the subsequent organisation of meaning. Reinterpretation, by contrast, may describe an already completed change in the mode of understanding while remaining entirely local and leaving other relations within the semantic system untouched. C3 makes a stronger claim: the new state must change how previously available material participates in subsequent interpretations, form selection, or discursive development. The criterion therefore concerns neither the mere emergence of novelty nor the act of understanding itself, but the functional consequence of change.

This formulation also explains why the criterion permits category overlap. Resemanticization in the proposed analytical sense need not constitute a mutually exclusive taxon alongside metaphorisation, grammaticalisation, or subjectification. The same historical process may receive several descriptions if they answer different questions: where a new meaning came from, in what direction it developed, whether the grammatical status of the unit changed, and whether the functional relation of previously available semantic material was reorganised. Such multidimensionality is preferable to an artificial classification in which each change is assigned only one label.

Grammaticalisation, subjectification, and lexicalisation are distinguished in a similar way. Grammaticalisation describes a change in the grammatical status and functions of a unit and may be accompanied by generalisation, semantic bleaching, or subjectification (Hopper and Traugott 1993; Bybee, Perkins, and Pagliuca 1994). Subjectification characterises a direction of change towards greater orientation of meaning to the speaker's perspective (Traugott 1989; Traugott and Dasher 2002), while lexicalisation concerns the establishment of a unit or construction in the lexicon (Brinton and Traugott 2005). A change in semantic relevance may overlap with these processes but belongs to a different analytical dimension.

Overlap between processes should not be treated as a weakness of the criterion. Semantic change is often described simultaneously along several analytical dimensions: a process may be metaphorical in mechanism, subjectifying in direction,

grammaticalising in its change of status, and resemanticizing in its effect on the internal organisation of meaning. The purpose of the criterion is not to compete with these categories but to isolate an additional question that they do not always ask directly: has the functional position of previously available semantic material changed?

The status of the hypothesis remains analytical. Authorial self-labelling as resemanticization is recorded as a fact of the relevant tradition regardless of whether a case satisfies C3. A mismatch does not mean that an author uses the term "incorrectly"; it indicates that the proposed hypothesis does not cover the full attested scope of the term. The reverse is also possible: a process without such self-labelling may satisfy C0–C3. The value of the criterion must therefore be assessed by whether it adds an account of functional consequences beyond an already established mechanism of change.

The hypothesis should be revised or narrowed if further material systematically reveals self-labelled linguistic cases without a change in semantic relevance or, conversely, shows that ordinary processes of semantic change routinely satisfy C0–C2 and demonstrate C3 without any additional explanatory yield. In this sense, the hypothesis is formulated as a claim about the limits of the criterion's potential discriminating capacity rather than as a claim to its universality.

It is particularly important to distinguish resemanticization from polysemy. A polysemous lexeme may retain several meanings without any change in their functional relations; this state says nothing about the mechanism by which the meanings arose or about their subsequent reorganisation. In Liisberg's work the distinction is especially explicit: polysemy records multiplicity of meanings, whereas resémantisation describes successive interventions in their organisation.

This distinction avoids another logical substitution. The emergence of a second meaning creates a polysemous structure, but does not indicate whether the relation of the first meaning to the others has changed. Resemanticization in the proposed analytical sense becomes substantively justified only when the new state cannot be adequately represented as simple addition: one must show a change in centrality, interpretive preferences, conditions of selection, or the capacity of a semantic programme to organise subsequent uses. Otherwise, polysemy remains a sufficient description of the outcome.

The boundary with local reinterpretation is set by the C3 threshold. A one-off playful or ironic reading is not treated as a positive case merely because it is unusual. At the textual level, the initial fixed configuration must be reconstructed and the new reading shown to reorganise it functionally. This is what makes Rastier's défigement an analytically stronger case than unconstrained contextual improvisation.

The relation to semantic change depends on the level of analysis. In lexical diachrony, cases satisfying C0–C3 may be treated as a form of secondary semantic reorganisation within the broader domain of semantic change. Grammatical agreement and discursive semantic programmes, however, cannot be reduced to lexical semantic change. For this reason, the expression "subtype of semantic change" is not used as a universal generic definition for all the models compared here.

Limitations of the Study and Further Testing

The main limitation lies in the analytical rather than exhaustive nature of the source base. The central models represent French, Dutch, and Danish research traditions; Camus's article was published in Portuguese, and the external contrastive case of A. Alejandro and J. Feldman is English-language. This selection permits comparison of contrasting uses of the term but does not justify extending the conclusions to all linguistic and theoretical traditions.

The source base is also asymmetrical in terms of source type. A. J. Greimas and J. Courtés provide a dictionary-based theoretical formulation, F. Rastier an analysis of an interpretive mechanism, J. Audring a systemic grammatical description, while M. H. Liisberg and Z. Camus analyse concrete discursive processes. The strength of evidence for C3 therefore necessarily differs: in some cases it rests on theoretical reconstruction, in others on distributional data or sequences of textual interventions. This does not preclude comparison, but it requires metatheoretical similarity not to be conflated with uniformity of empirical evidence.

A further problem concerns the stability of the distinction between the "simple addition" of a meaning and functional reorganisation. In real diachronic processes, the boundary may be gradual: a new meaning may initially coexist with an earlier one, then become more frequent, affect interpretive expectations, and only later alter the centre of a semasiological structure. C3 will therefore not always have a binary empirical marker. What matters is that the diagnostic procedure requires the researcher to specify at which stage, and on the basis of which observable indicator, the analysis moves from identifying novelty to claiming a change in functional organisation.

A second limitation is the heterogeneity of the empirical base. The grammatical line draws on published distributional data, whereas textual and discursive cases are reconstructed from the analyses provided by their authors. In addition, the hypothesis has not yet been applied to material independent of the models compared here. Several cases discussed in the broader literature may serve as candidates for such future testing. The development of causal *since* in E. C. Traugott and R. B. Dasher's account (Traugott and Dasher 2002) provides a case in which semantic innovation and conventionalisation can be examined against the proposed lexical indicators. M. Israel's analysis of *literally* (Israel 2002) offers material for testing whether a functional shift not authorially labelled as resemanticization satisfies the criterion. L. Makaruk's analysis of the Cadbury slogan (Makaruk 2026), by contrast, provides a self-labelled case in multimodal discourse. These cases are not treated here as validation evidence; rather, they illustrate the kinds of independent material on which the discriminating power of the criterion should be tested. More rigorous testing requires an independently selected set of cases drawn from additional sources, including self-labelled cases of resemanticization, closely related processes not labelled by this term, and pre-specified negative examples.

The proposed C3 indicators make the criterion more operational but do not turn it into an automatic test. Different levels require different types of evidence: interpretive dependencies in text, meaning distributions in the lexicon, the strength of selection

factors in grammar, and sequences of semantic programmes in discourse. Further work should therefore test the reproducibility of such decisions on independently selected material.

A concrete programme for further testing follows from these limitations. At the lexical level, series of diachronic examples are needed in which simple meaning addition can be compared with cases involving the restructuring of semasiological organisation. For grammar, distributional data are required to estimate changes in the strength of semantic selection factors. At the textual level, independent reconstruction of the initial fixed configuration and of the effect of its defixation is required. At the discursive level, sequences of uses are needed to trace whether a new programme changes the space of permissible continuations. Such testing can show whether semantic relevance is a robust cross-theoretical parameter or merely a convenient description of the source base considered here.

A promising direction is testing on broader multilingual material, including other European languages and Ukrainian. Particularly informative are cases in which historical re-evaluation, institutional redescription, or multimodal recontextualisation changes not only the content of a unit but also its functional position in subsequent uses.

Testing series of related cases rather than isolated examples may be especially productive. If several successive states of a lexeme or discursive term can be traced, it becomes possible to establish whether a change in semantic relevance arises together with a new meaning or only later, as that meaning stabilises. Similarly, grammatical research can compare age-based, regional, and stylistic distributions, while discourse-semantic research can examine which programmes acquire the capacity to constrain subsequent interpretations. Such material would allow a shift from qualitative diagnosis towards more rigorous testing of $S_1 \rightarrow S_2$ dynamics.

Conclusions. The comparison shows that resemanticization does not constitute a single mechanism. In A. J. Greimas and J. Courtés it is associated with the restoration of the semantic value of reduced content; in F. Rastier, with the reactivation of material in *défigement*; in J. Audring, with a change in the role of semantic features in grammatical choice; in M. H. Liisberg, with successive redefinition of an already semantised term; and in Z. Camus, with the establishment of an antagonistic relation between semantic programmes in which one programme is weakened and another strengthened. The shared feature lies not at the level of mechanism but in the dependence of a new state on already organised semantic material and in a change in its functional participation.

Within the proposed analytical hypothesis, semantic relevance is understood as a relation between states S_1 and S_2 that is manifested through a change in a specific functional role. C0–C2 specify the conditions under which the criterion applies, whereas C3 identifies a diagnostically relevant, level-specific functional consequence. The mere emergence, frequency, or salience of a new meaning is therefore insufficient.

The comparison does not yet establish the discriminating power of the criterion. The hypothesis has been formulated and operationalised, but it has not been tested on material independent of the models compared here. The external contrast provided by

A. Alejandro and J. Feldman shows that a structurally similar relation can also occur outside language and thus motivates the linguistic boundary expressed in C0.

The distinction between local-interpretive and systemic-diachronic modes refines the type of evidence required for C3. In the textual mode, functional reorganisation must be reconstructed in relation to an established interpretative configuration; in the systemic-diachronic mode, it must be supported by changes in the distribution of forms, meanings, or subsequent discursive continuations. This distinction allows heterogeneous models to be compared without imposing an artificial requirement of identical temporal stability.

The proposed criterion is not intended as a universal definition of resemanticization and does not prescribe terminology to other traditions. Its analytical value lies in distinguishing the emergence of semantic novelty from a change in the functional organisation of already available material, while preserving differences among the mechanisms described in individual theoretical approaches. Resemanticization is therefore reducible neither to the return of an earlier meaning, nor to innovation as such, nor to polysemy as a state. Further cross-linguistic and cross-theoretical testing is required to determine whether semantic relevance has stable discriminating value beyond the source base examined here.

References

1. Alejandro, Audrey, and Joshua Feldman. 2024. "The Discursive Process of Resemantisation: How Global Health Discourses Turned Male Circumcision into an Anti-HIV Policy." International Relations 40 (3): 472–500. https://doi.org/10.1177/00471178241249641.
2. Audring, Jenny. 2009. Reinventing Pronoun Gender. Utrecht: LOT.
3. Brinton, Laurel J., and Elizabeth Closs Traugott. 2005. Lexicalization and Language Change. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Bybee, Joan L., Revere Perkins, and William Pagliuca. 1994. The Evolution of Grammar: Tense, Aspect, and Modality in the Languages of the World. Chicago: University of Chicago Press.
5. Camus, Zoé. 2025. "A ressemantização não é um espantalho [Resemantization Is Not a Strawman]." Cadernos de Linguística 6 (5): e825. https://doi.org/10.25189/2675-4916.2025.v6.n5.id825.
6. De Vos, Lien, Gert De Sutter, and Gunther De Vogelaer. 2021. "Weighing Psycholinguistic and Social Factors for Semantic Agreement in Dutch Pronouns." Journal of Germanic Linguistics 33 (1): 30–66. https://doi.org/10.1017/S1470542720000094.
7. Doreleijers, Kristel, Jeroen Van Craenenbroeck, and Marjo Van Koppen. 2025. "Pronominal Gender in Dutch: Apparent-Time Change in Lexical versus Semantic Agreement." Journal of Germanic Linguistics 37 (2): 190–220. https://doi.org/10.1017/S1470542725000017.
8. Geeraerts, Dirk. 1997. Diachronic Prototype Semantics: A Contribution to Historical Lexicology. Oxford: Clarendon Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198236528.001.0001.

9. Greimas, Algirdas Julien, and Joseph Courtés. 1982. Semiotics and Language: An Analytical Dictionary. Translated by Larry Crist et al. Bloomington: Indiana University Press.

10. Hengchen, Simon, Nina Tahmasebi, Dominik Schlechtweg, and Haim Dubossarsky. 2021. "Challenges for Computational Lexical Semantic Change." In Computational Approaches to Semantic Change, edited by Nina Tahmasebi, Lars Borin, Adam Jatowt, Yang Xu, and Simon Hengchen, 341–372. Berlin: Language Science Press. https://doi.org/10.5281/zenodo.5040322.

11. Hopper, Paul J., and Elizabeth Closs Traugott. 1993. Grammaticalization. Cambridge: Cambridge University Press.

12. Israel, Michael. 2002. "Literally Speaking." *Journal of Pragmatics* 34 (4): 423–432. https://doi.org/10.1016/S0378-2166(01)00048-0.

13. Liisberg, Marianne Høi. 2025. "Sens polysémiques, sens opposés ? Analyser le terme byudvikling dans un conflit danois au prisme de la polysémie, de la polyphonie et de la resémantisation." ELAD-SILDA 11. https://doi.org/10.35562/elad-silda.1664.

14. Makaruk, Larysa. 2026. "Metafora yak mekhanizm resemantyzatsii ta rekontekstualizatsii slohaniv u multymodalnomu dyskursi [Metaphor as a Mechanism of Resemantization and Recontextualization of Slogans in Multimodal Discourse]." Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu "Ostrozka akademiia": seriia "Filolohiia" 29 (97): 54–59. https://doi.org/10.25264/2519-2558-2026-29(97)-54-59.

15. Rastier, François. 1997. "Défigements sémantiques en contexte." In *La locution entre langue et usages*, edited by Michel Martins-Baltar, 307–332. Paris: ENS Éditions / Ophrys.

16. Sperber, Dan, and Deirdre Wilson. 1995. Relevance: Communication and Cognition. 2nd ed. Oxford: Blackwell.

17. Tahmasebi, Nina, Lars Borin, and Adam Jatowt. 2021. "Survey of Computational Approaches to Lexical Semantic Change Detection." In Computational Approaches to Semantic Change, edited by Nina Tahmasebi, Lars Borin, Adam Jatowt, Yang Xu, and Simon Hengchen, 1–91. Berlin: Language Science Press. https://doi.org/10.5281/zenodo.5040302.

18. Traugott, Elizabeth Closs. 1989. "On the Rise of Epistemic Meanings in English: An Example of Subjectification in Semantic Change." Language 65 (1): 31–55.

19. Traugott, Elizabeth Closs, and Richard B. Dasher. 2002. Regularity in Semantic Change. Cambridge: Cambridge University Press.

CHAPTER 5. IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF PHYSICO-MATHEMATICAL AND TECHNICAL DIRECTIONS

5.1. Modern Approaches to the Synthesis and Characterization of Functional Inorganic Materials

Functional inorganic materials form the basis of many modern technologies because they combine chemical and thermal stability with a broad spectrum of electrical, magnetic, optical, catalytic, sorption, and mechanical properties. This class includes simple and complex oxides, ferrites, titanates, zirconates, phosphates, nitrides, carbides, chalcogenides, fluorides, oxyfluorides, as well as multiphase and composite systems. For many practical tasks, chemical composition alone does not determine functionality. Crystal structure, cation ordering, concentration and type of defects, crystallite size, particle morphology, porosity, and surface state can be equally important. For this reason, contemporary inorganic synthesis is increasingly viewed not merely as a route to a compound of a specified formula, but as a tool for controlling structure across several length scales [1, 2].

Classical solid-state reactions remain universal and technologically simple, yet they often require high temperatures and prolonged heat treatment, while reaction rates are limited by diffusion across grain boundaries and through layers of intermediate phases. These limitations stimulated the development of "soft-chemistry" routes that provide mixing of components at the molecular, ionic, or nanoscale. Sol-gel chemistry, hydrothermal and solvothermal synthesis, precipitation, and related solution-based methods can substantially shorten diffusion distances and enable the preparation of homogeneous multicomponent products at lower temperatures [3–5]. In parallel, mechanochemistry, microwave heating, combustion synthesis, and molten-salt processing have created opportunities to shorten reaction times, reduce energy consumption, and access metastable or morphology-controlled phases [6–10].

The purpose of this work is to systematize the principal modern approaches to the synthesis of functional inorganic materials, compare their advantages and limitations, and outline the analytical methods needed to establish reliable relationships between processing conditions, structure, and functional properties. Particular attention is given to oxide systems because they provide a convenient model class for comparing nearly all of the synthesis routes considered and include important materials for electronics, energy conversion and storage, catalysis, sensing, and magnetic applications.

The term "functional material" implies that composition and structure are deliberately selected to produce a specific property or a combination of properties. In complex perovskite-type oxides ABO_3, substitution on the A or B sublattice can change the oxidation state of the transition metal, the concentration of oxygen vacancies, the symmetry of the unit cell, and the electronic structure. These changes can strongly affect electrical conductivity, dielectric response, magnetism, and catalytic activity. In spinels AB_2O_4, the distribution of cations between tetrahedral and octahedral sites is crucial, whereas in phosphates and silicates the topology of the anionic framework is often

decisive. In nanoscale simple oxides, the surface-to-volume ratio can dominate chemical reactivity and defect chemistry. Therefore, synthesis design must simultaneously consider equilibrium phase stability and the kinetics of product formation.

Rational planning of solid-state reactions increasingly relies on thermodynamic databases and on evaluation of competing phase-formation pathways. Aykol, Montoya, and Hummelshøj demonstrated that multicomponent solid-state synthesis should not be assessed only from the overall free-energy change. Nucleation barriers, interfacial compatibility, and structural relationships between reactants, intermediates, and the target phase may substantially influence reaction selectivity [2]. This helps explain why a reaction that is thermodynamically favorable on paper may still yield a multiphase product if local diffusion pathways and interfacial nucleation favor competing compounds.

In practice, synthesis parameters form a multidimensional space that includes the nature and particle size of precursors, stoichiometry, mixing procedure, temperature, heating and cooling rates, dwell time, oxygen partial pressure, pH, concentration, solvent composition, mineralizer, pressure, milling intensity, and microwave power. Variation of a single parameter frequently influences several stages simultaneously. Increasing temperature accelerates diffusion but may also promote agglomeration and volatilization. Increasing solution concentration can improve productivity but also changes supersaturation and nucleation kinetics. Consequently, optimization should target not only phase purity, but also reproducibility, morphology, functional response, and scalability.

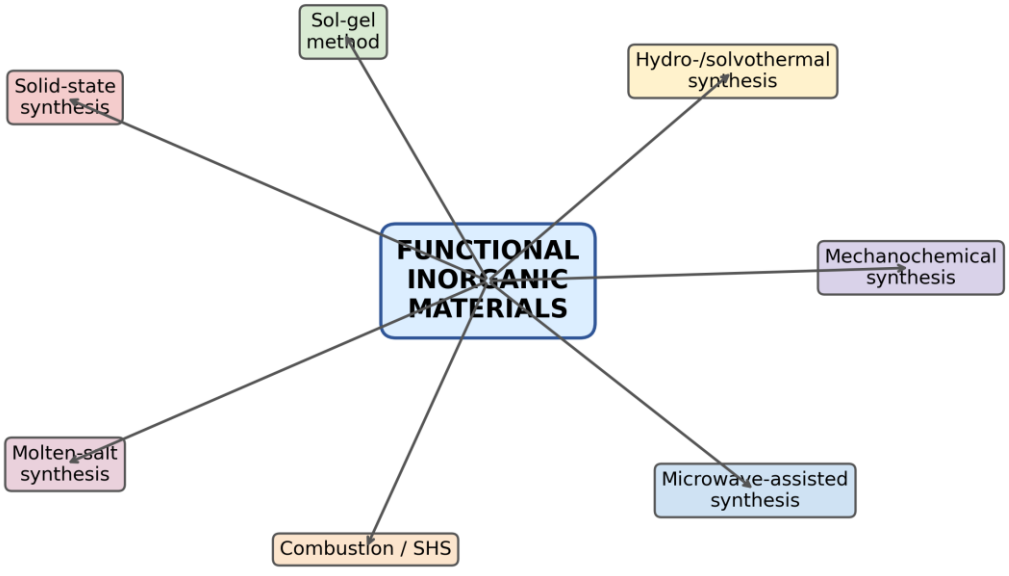


Figure 1. Major approaches to the synthesis of functional inorganic materials (summarized from [1–10])

Solid-state synthesis is one of the oldest and most widely used routes for preparing inorganic compounds. A typical procedure includes weighing oxides, carbonates, hydroxides, or other salts; mixing and grinding; forming a powder or compact; calcination; repeated grinding; and final high-temperature annealing. Its advantages are simple equipment, limited solvent use, availability of precursors, and straightforward scale-up. For many thermodynamically stable oxides, the method remains a benchmark when gram- or kilogram-scale production is required [1, 2].

The principal limitation of the solid-state route is associated with local contact between particles. Reaction begins at the interface between two solids, and the product often forms a layer through which ions must subsequently diffuse. As this layer thickens, the reaction rate may decrease. The process can be accelerated by fine grinding, repeated mixing, elevated temperature, addition of fluxes, compaction, use of more reactive precursors, and atmosphere control. However, high temperatures also stimulate grain growth and may cause losses of volatile components, especially alkali metals or oxides with significant vapor pressure.

Modern development of the method is therefore moving from empirical temperature selection toward predictive precursor design and reaction-pathway analysis. For multicomponent functional oxides, structural and chemical compatibility of precursors can be as important as the overall thermodynamic driving force [2]. Replacing one precursor with another may lower the formation temperature or increase selectivity without changing the nominal composition of the final product. This is particularly relevant in systems with many possible intermediate compounds, where small changes in local reaction chemistry can redirect the pathway toward either the desired phase or a stable impurity.

The sol-gel approach is based on conversion of molecular or colloidal precursors into an extended inorganic network, followed by drying and thermal treatment. In the classical route, metal alkoxides undergo hydrolysis and condensation. Modified schemes employ nitrates, acetates, citrates, chelating agents, and polymer-forming reagents. The major advantage is the high degree of mixing, which can reduce the diffusion distance during crystallization by orders of magnitude compared with mixed oxide powders. As a result, the target phase often forms at lower temperature and with finer particle size [3].

The mechanism of sol-gel processing depends strongly on the coordination chemistry of the metal center. Hydrolysis and condensation rates are controlled by metal electrophilicity, steric factors, ligand type, water-to-alkoxide ratio, complexing agents, and pH. Kessler and Seisenbaeva emphasized that metal-oxide sol-gel reactions can be extremely rapid but are also governed by reversible coordination processes at the molecular level. Proper control of those equilibria can stabilize heterometallic precursors and improve the homogeneity of complex oxide systems [3]. This is especially important when different cations possess strongly different hydrolysis rates, because premature precipitation of one component destroys molecular-scale mixing.

Aging, drying, and calcination are equally important stages. During drying, capillary stress can produce shrinkage, cracking, and redistribution of pores.

Subsequent heating removes organic groups, residual anions, and hydroxyl species and converts the amorphous network into a crystalline oxide. Excessively rapid heating can produce local overheating and nonuniform decomposition, whereas excessive calcination promotes sintering and lowers specific surface area. Thermal analysis by TG/DSC is therefore useful for selecting a staged heat-treatment schedule and identifying the temperature intervals associated with solvent loss, organic decomposition, oxidation, and crystallization.

Sol-gel routes are particularly suitable for thin films, porous oxides, catalysts, dielectrics, ferrites, perovskites, and composites. They also facilitate the homogeneous introduction of dopants at low concentration. Their limitations include the cost and moisture sensitivity of some precursors, the need to remove organic residues, shrinkage during drying, and the challenge of reproducing laboratory-scale gel behavior at larger volume. During scale-up, heat transfer, mass transfer, viscosity, and local pH gradients become increasingly important.

Hydrothermal synthesis is carried out in aqueous media at temperatures above the normal boiling point of water under corresponding autogenous pressure; in solvothermal processing, water is replaced partially or completely by an organic solvent. Elevated temperature and pressure alter solubility, acid-base equilibria, hydrolysis rates, and mass transport. This can enable crystallization of inorganic phases without the high-temperature sintering required in conventional ceramic processing. Hydrothermal chemistry is also known for access to metastable phases and unusual crystal morphologies that may be difficult to obtain under ambient-pressure conditions [4].

For perovskite oxides, hydrothermal and solvothermal routes offer broad control over composition, particle size, and crystal habit. Walton showed that solvent identity, alkaline concentration, mineralizer, temperature, and reaction time can influence both morphology and accessible phase composition [5]. Because precursor solubility and complex stability differ among cations, careful matching of chemical conditions is essential in multicomponent systems. A route that works well for a binary oxide may not directly translate to a chemically more complex perovskite.

Continuous-flow hydrothermal synthesis is an important extension of the batch autoclave approach. Rapid mixing of a precursor solution with a hot water stream under high pressure can generate abrupt supersaturation and nucleation, producing inorganic nanoparticles with narrow residence-time distributions. Compared with batch reactors, flow systems may improve reproducibility and facilitate scale-up, although reactor corrosion, pressure safety, fouling, and channel blockage remain important engineering issues [6].

The principal advantages of hydrothermal and solvothermal methods are high product crystallinity, direct formation of nanoscale crystals, control over anisotropic morphology, and moderate external temperatures. Their limitations include pressure-rated equipment, restricted visual access to the reaction, and sensitivity to reactor filling fraction. For reproducible reporting, it is important to specify not only reaction

temperature and time, but also vessel volume, filling ratio, liner material, heating profile, solution composition, concentration, and mineralizer content.

Table 1. Comparative characteristics of the principal synthesis routes

Method	Typical conditions	Main advantages	Main limitations
Solid-state	High temperature; solid precursors	Simple equipment; scalable; inexpensive precursors	Slow diffusion; grain growth; high energy demand
Sol-gel	Solution/sol → gel → calcination	High homogeneity; lower formation temperature; easy doping	Precursor cost; shrinkage; removal of organics
Hydro-/solvothermal	Solution at elevated temperature and pressure	High crystallinity; morphology control	Autoclave/pressure; safety and scale-up issues
Mechanochemical	High-energy milling	Low solvent demand; activation of solids	Wear, contamination, complex process parameters
Microwave / combustion	Rapid volumetric heating or exothermic reaction	Short reaction time; fine powders	Sensitive to composition and heat-release regime
Molten salt	Liquid salt medium at elevated temperature	Fast mass transport; good crystallinity	Washing, corrosion, salt-containing waste

Mechanochemistry uses mechanical energy to initiate chemical reactions and structural transformations. In high-energy ball mills, particles repeatedly deform, fracture, and cold-weld, creating fresh surfaces, dislocations, amorphous regions, and local zones of high stress. These effects can substantially lower the thermal barrier to reaction, allowing some solid-state transformations to occur at much lower external temperature or even without deliberate heating. In mechanochemical routes to oxide nanoparticles, displacement reactions can generate nanoscale product crystallites within a salt matrix that is subsequently removed by washing [7].

Important mechanochemical parameters include mill type, vessel and ball material, ball size, ball-to-powder mass ratio, rotational or oscillation speed, milling duration, atmosphere, temperature, and the presence of a small amount of liquid. Increasing milling intensity does not automatically improve the result. Excessive mechanical action may introduce contamination from the vessel and balls, promote agglomeration, produce excessive amorphization, or alter the oxidation state of sensitive components. Systematic optimization and careful purity control are therefore essential.

The main benefits of mechanochemistry are reduced solvent use, strong activation of low-reactivity solids, and potential industrial scale-up using large mills. The method is attractive from the perspective of greener processing, but its true energy efficiency should include electrical power consumption, wear of milling media, and any subsequent washing or heat treatment. Mechanochemical activation can also serve as an

intermediate step: milling decreases particle size and increases defect concentration, after which a short annealing treatment completes crystallization of the desired phase.

Microwave heating differs from conventional furnace heating because electromagnetic energy can be absorbed directly by the reaction mixture. The efficiency of this process depends on dielectric properties, field frequency, sample geometry, and temperature. In suitable systems, microwave processing provides rapid volumetric heating, shortens reaction time, and can alter the balance between nucleation and growth. Microwave activation is therefore frequently combined with hydrothermal, solvothermal, and combustion-based routes.

In microwave-induced solution combustion synthesis, aqueous metal-salt solutions are combined with a fuel or complexing fuel, and microwave irradiation rapidly initiates an oxidation-reduction reaction with intense gas evolution and formation of a porous oxide product. The review by Yin and co-workers shows that the route can provide very short synthesis times, relatively low external energy demand, fine particle size, and good multicomponent mixing [8]. The final characteristics depend strongly on oxidizer-to-fuel ratio, pH, fuel chemistry, microwave power, and post-annealing conditions.

Combustion synthesis includes several related processes. In solution combustion, the reaction occurs throughout a liquid or gel-like precursor. In self-propagating high-temperature synthesis (SHS), a strongly exothermic reaction is locally ignited and then propagates as a reaction front through a solid compact. High local temperature and short reaction time can produce oxides, nitrides, carbides, borides, and composites. However, front velocity, heat losses, gas evolution, and product morphology may be sensitive to sample dimensions and packing density [9].

For functional oxides, solution combustion commonly employs nitrates as oxidizers and urea, glycine, citric acid, or related organic compounds as fuels and/or complexing agents. Rapid gas evolution produces low-density powders with high apparent porosity and often high surface area. Nevertheless, residual carbon, intermediate carbonates, or incomplete crystallization may require an additional annealing step. Thus, a short combustion event should not be equated automatically with a complete synthesis route; chemical purity and crystallinity still require verification.

Molten-salt synthesis uses a high-temperature liquid salt medium in which reactant transport is much faster than in a fully solid mixture. Individual salts or eutectic mixtures of chlorides, nitrates, sulfates, and other compounds may be used. After reaction, the melt is cooled and water-soluble salts are usually removed by washing. For oxide nanomaterials, the approach combines simple processing with strong enhancement of mass transport and opportunities for morphology control [10].

The salt medium determines the reaction temperature, viscosity, solubility of the precursors, and interactions with crystal surfaces. In some cases, the melt mainly acts as a diffusion medium; in others, reaction proceeds by partial dissolution and recrystallization. These mechanisms can promote the formation of well-faceted crystals, platelets, rods, or other anisotropic particles. For perovskite-, spinel-, and pyrochlore-

related oxides, molten-salt synthesis may lower the required temperature or shorten the reaction time compared with conventional solid-state processing [10].

Important practical issues include complete removal of residual salt, corrosion resistance of crucible materials, treatment of washing solutions, and prevention of unintended incorporation of ions from the flux into the product. During scale-up, the salt-to-reactant ratio must also be optimized. A large salt excess improves transport but increases material consumption and wastewater volume. Therefore, the advantages of molten-salt processing should be considered together with the overall material balance of the process.

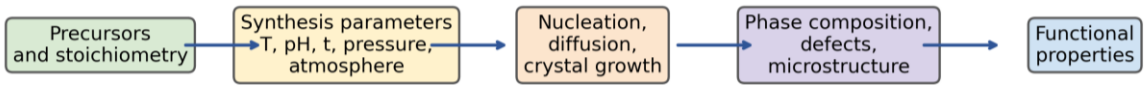


Figure 2. General relationship between synthesis parameters, structure, and functional properties

The choice of a synthesis method is meaningful only in relation to the structural feature that must be controlled. If the primary requirement is phase purity of a bulk ceramic, a high-temperature solid-state route may be optimal because of its simplicity and scalability. If nanoscale particles with a narrow size distribution or anisotropic morphology are required, solution-based routes may be preferable. Mechanochemistry is attractive for minimizing solvent use and activating solid-state reactions; microwave processing for rapid volumetric heating; and molten salts for efficient high-temperature mass transport.

Temperature is one of the most universal synthesis variables. Raising the temperature increases diffusion rates and accelerates conversion of intermediate phases, but it can also promote grain growth, reduce specific surface area, intensify sintering, and increase loss of volatile components. Dwell time presents a similar trade-off: insufficient duration leaves unreacted precursors or metastable intermediates, whereas excessive treatment may reduce dispersion. In solution synthesis, pH, concentration, and supersaturation add further control over hydrolysis, nucleation, and crystal-growth mechanisms.

Reaction atmosphere governs redox state and defect chemistry. In transition-metal oxides, oxygen partial pressure can modify the ratio of oxidation states and the concentration of oxygen vacancies. Such defects may be beneficial for ionic or electronic conductivity, catalytic activity, and sensing, but excessive non-stoichiometry can also destabilize the phase. Therefore, comparison of materials prepared by different routes should not be based on nominal composition and XRD alone. Chemical state, actual stoichiometry, and defect concentration should be examined whenever they are relevant to the target property.

Table 2. Principal synthesis parameters and their expected influence

Parameter	Principal influence
Temperature	Diffusion rate, phase formation, crystallinity, grain growth
Dwell time	Reaction completeness, intermediate-phase conversion, particle coarsening
pH and concentration	Hydrolysis, complexation, supersaturation, nucleation
Atmosphere / p(O2)	Oxidation state, vacancy concentration, non-stoichiometry
Pressure	Solubility, phase stability, crystallization rate
Heating rate	Decomposition sequence, local overheating, crystallite size
Milling intensity	Defect density, reactivity, amorphization, contamination risk

Comprehensive characterization is an integral part of contemporary inorganic synthesis. X-ray diffraction (XRD) identifies crystalline phases, provides unit-cell parameters, and can be used to evaluate crystallinity, coherent domain size, and microstrain. For multiphase products, quantitative Rietveld analysis is generally more informative than qualitative peak matching. At the same time, XRD has limited sensitivity to small amounts of impurities and amorphous material, so it should be complemented by other techniques.

Scanning electron microscopy (SEM) reveals particle morphology, agglomeration, and size distributions on the micro- and submicrometer scale, whereas transmission electron microscopy (TEM/HRTEM) provides nanoscale information about crystallites, lattice fringes, interfaces, and defects. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) is useful for local elemental analysis and mapping, but it is not equally accurate for all elements and does not directly provide oxidation states. Bulk chemical composition can be evaluated more reliably by XRF or ICP-based methods when quantitative accuracy is required.

FTIR and Raman spectroscopy probe local vibrational modes, coordination groups, residual organics, and structural disorder. In oxides with similar diffraction patterns, vibrational spectroscopy can reveal local distortions that are not obvious from XRD. Thermal analysis by TG/DSC is particularly valuable during synthesis development because it identifies removal of adsorbed water, decomposition of organic and salt precursors, oxidation-reduction events, and phase transformations. This information helps to select rational drying and calcination schedules.

Specific surface area and porosity are commonly characterized by gas adsorption, often using the BET model. These parameters may directly influence the performance of catalysts, sorbents, and electrode materials. Optical materials are studied by UV–Vis/DRS and photoluminescence methods; magnetic materials by magnetometry; and electroceramics by impedance spectroscopy and dielectric measurements. Reliable establishment of cause-and-effect relationships requires comparison of series of samples prepared under systematically varied conditions rather than characterization of isolated specimens.

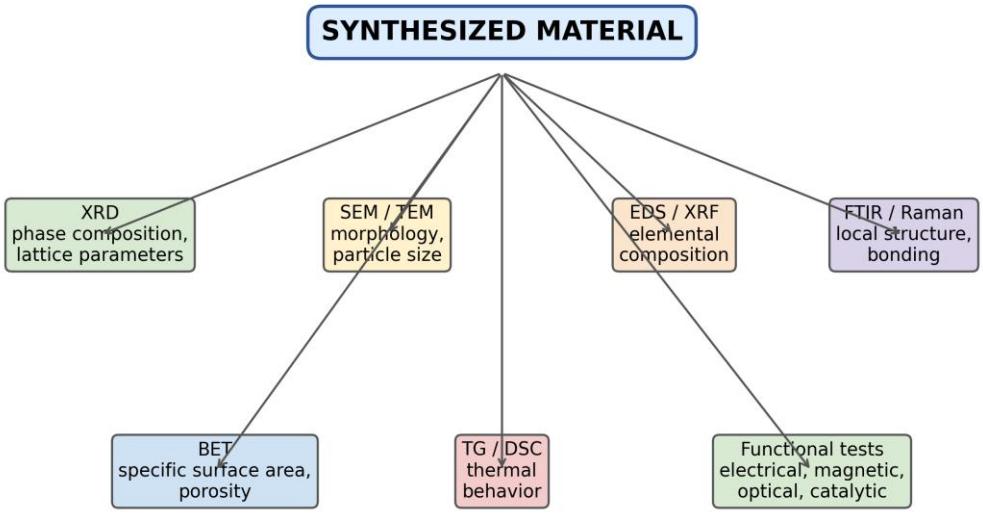


Figure 3. Integrated characterization of synthesized functional inorganic materials

Table 3. Information provided by the main characterization method

Method	Information obtained
XRD	Phase composition, lattice parameters, crystallinity, coherent domain size
SEM / TEM / HRTEM	Morphology, particle size, agglomeration, defects, lattice fringes
EDS / XRF / ICP	Local or bulk elemental composition
FTIR / Raman	Vibrational modes, local structure, functional groups, residual phases
TG / DSC	Precursor decomposition, mass loss, oxidation-reduction and phase transformations
BET	Specific surface area, pore volume, pore-size distribution
Functional measurements	Electrical, magnetic, optical, catalytic, and sensing properties

No single synthesis route is universally superior. Solid-state processing remains attractive for simplicity, availability, and scalability but often offers limited morphology control and requires substantial thermal input. Sol-gel and hydrothermal approaches provide high chemical homogeneity and strong control over particle formation but may require special precursors, large volumes of solvent, or pressure-resistant reactors. Mechanochemistry reduces solvent demand and strongly activates solids, although contamination and equipment-specific process parameters must be controlled. Microwave and combustion routes are rapid but sensitive to heat-release conditions. Molten salts provide efficient high-temperature transport but introduce washing and salt-recovery operations.

A major current trend is the combination of complementary approaches. Mechanochemical activation may precede a short annealing step; a sol-gel precursor may be crystallized under microwave or hydrothermal conditions; a combustion-derived powder may be post-annealed to remove residues and improve structural ordering; and a salt melt may be used to grow crystals from a pre-synthesized precursor. Hybrid routes divide the synthesis task among stages, with one step responsible for chemical mixing, another for nucleation, and a final step for controlling crystallinity, defects, or morphology.

A second trend is the digitalization of synthesis planning. Thermodynamic databases, computational screening, automated reactors, and statistical design of experiments create opportunities to move from sequential trial-and-error optimization toward more rational exploration of process space. For solid-state reactions, strategies have already been proposed in which precursor selection is evaluated in relation to phase selectivity and nucleation behavior [2]. In the future, such tools can be coupled with automated XRD, spectroscopy, and microscopy in iterative closed-loop workflows that update the next synthesis conditions on the basis of newly acquired data.

A third trend concerns sustainability. Environmental assessment should not be reduced to reaction temperature alone. It should include precursor production, water and solvent demand, energy consumed in milling or microwave operation, pressure generation, drying, washing, waste treatment, and the possibility of solvent or salt recovery. A “low-temperature” route is not automatically more sustainable if it relies on expensive precursors, multiple purification stages, or large solvent volumes. For this reason, material efficiency, energy intensity, waste generation, and reproducibility are increasingly important criteria alongside phase purity and functional performance.

The chemistry of precursors has a decisive influence on the reproducibility of inorganic synthesis. Commercial oxides and salts may differ in hydration state, carbonate content, particle-size distribution, and surface reactivity even when their nominal purity is identical. Hygroscopic nitrates and chlorides require careful storage and, where necessary, independent determination of water content before stoichiometric calculations are made. Carbonates can undergo multistage decomposition and temporarily generate highly reactive oxide surfaces, whereas stable oxides may react only after extensive interdiffusion. For this reason, the precursor should be considered an active component of the reaction pathway rather than simply a source of a chemical element. In multicomponent systems, the use of precursors that decompose within compatible temperature ranges can reduce compositional gradients and suppress unwanted intermediate phases.

Chemical homogeneity is particularly important when a functional property depends on a low dopant concentration. In a conventional powder mixture, a dopant introduced at one or two atomic percent may be distributed over distances much larger than the final grain size unless prolonged milling and heat treatment are employed. Solution-based routes can distribute the same dopant on a molecular or ionic scale before solidification. However, homogeneous distribution in the initial solution does not guarantee homogeneous distribution after drying and calcination. Segregation may

occur during solvent evaporation, polymer decomposition, crystallization, or liquid-phase formation. Consequently, the final spatial distribution of dopants should be verified experimentally rather than inferred solely from the nominal preparation procedure.

Defect engineering is another central aspect of modern functional inorganic materials. Point defects such as oxygen vacancies, cation vacancies, interstitials, antisite defects, and mixed-valence states can dominate electrical conductivity, catalytic activity, luminescence, and magnetic behavior. Synthesis conditions determine both equilibrium and metastable defect populations. Rapid quenching can preserve a high-temperature defect state, while slow cooling can promote ordering or annihilation. Reducing atmospheres can stabilize lower oxidation states and oxygen deficiency, whereas oxidizing conditions may suppress vacancies or induce cation oxidation. In nanoscale materials, surfaces and interfaces provide additional defect reservoirs, so the defect chemistry of nanoparticles can differ substantially from that of bulk crystals of the same nominal composition.

The influence of particle size extends beyond geometric surface area. When crystallites become very small, surface energy contributes significantly to the total free energy and may modify relative phase stability. This can favor polymorphs that are metastable in the bulk. At the same time, small particles possess short diffusion distances, which can accelerate redox and ion-exchange processes. These effects are useful in catalysis, batteries, solid-oxide electrochemical devices, and sensors, but they also complicate synthesis because the product can transform during drying, calcination, storage, or functional testing. Therefore, nanostructure should be treated as a thermodynamically and kinetically dynamic characteristic rather than as a fixed size descriptor.

Morphology control is especially important for materials whose properties are anisotropic. Plate-like particles can expose specific crystallographic planes, one-dimensional rods can facilitate directional charge or ion transport, and hollow or porous architectures can increase accessible surface area. Hydrothermal and solvothermal routes are particularly suitable for morphology control because selective adsorption of ligands, mineralizers, or solvent molecules can change the relative growth rates of crystal faces. Molten salts can similarly act as growth media in which dissolution and recrystallization favor faceted crystals. The challenge is to distinguish true morphology-selective chemical effects from simple changes in supersaturation or particle aggregation, which requires systematic variation of synthesis parameters and microscopic characterization.

Another important consideration is the transition from powder synthesis to shaped functional components. A powder with excellent phase purity and nanoscale size may not retain these characteristics during pressing, sintering, coating, or device fabrication. Densification can eliminate porosity, promote grain growth, alter defect concentrations, and induce secondary reactions with electrodes, substrates, or binders. Conversely, insufficient sintering may preserve a high surface area but produce weak mechanical integrity or high grain-boundary resistance. Thus, powder synthesis and

materials processing should be optimized together. For ceramic applications, the sintering behavior of the synthesized powder is often as important as its initial particle size.

For thin films and coatings, precursor chemistry must also be compatible with the deposition method. Sol-gel-derived solutions can be applied by spin coating, dip coating, spraying, or printing, followed by controlled drying and crystallization. The final film quality depends on viscosity, wetting, evaporation rate, substrate chemistry, thermal expansion mismatch, and the nucleation behavior at the interface. Repeated deposition of thin layers may reduce cracking compared with a single thick coating. When functional properties are measured in thin films, substrate-induced strain and preferred orientation must be considered because they can shift phase-transition temperatures, modify lattice parameters, and change electrical or magnetic response relative to bulk material.

The role of interfaces becomes even more pronounced in composite and heterostructured materials. Interfaces can create space-charge regions, epitaxial strain, altered coordination environments, and pathways for accelerated ion transport. In catalytic composites, intimate contact between two phases may produce activity that cannot be predicted from either component separately. In dielectric or magnetic composites, interfacial polarization and exchange interactions may dominate the macroscopic response. Synthesis routes that generate components in situ often provide better interfacial contact than mechanical mixing, but they also increase the risk of unwanted interdiffusion or formation of a third phase. Therefore, characterization of interfaces by microscopy and spectroscopy is essential when interfacial functionality is claimed.

Reproducibility requires careful control of seemingly minor experimental details. The same nominal heat-treatment temperature can correspond to different actual sample temperatures depending on furnace calibration, crucible position, sample mass, gas flow, and heating rate. In autoclaves, the thermal history includes a heating period that may represent a substantial fraction of the total reaction time. In ball milling, the effective energy input depends on filling degree, ball size distribution, and equipment geometry. In microwave systems, field distribution can produce local differences in heating. High-quality reporting should therefore include sufficient operational detail to allow another laboratory to reproduce the process, not merely the nominal chemical equation.

Quantitative comparison of synthesis methods should ideally include yield, phase purity, reaction time, energy input, solvent consumption, and product performance. A route that produces a pure phase in thirty minutes may still be inefficient if it requires long precursor preparation, extensive washing, or several hours of drying. Likewise, a lower synthesis temperature may not reduce total energy consumption when pressure generation, vacuum drying, or high-energy milling is included. Life-cycle thinking is therefore useful even at the laboratory scale because it prevents overinterpretation of a single favorable process parameter.

Scale-up introduces changes that are not always predictable from small laboratory batches. Heat and mass transfer become less uniform as reactor volume increases, and local gradients in temperature, concentration, or gas composition can broaden the particle-size distribution or generate secondary phases. Mixing efficiency may decrease, while the time required for heating and cooling increases. In combustion synthesis, larger batches may experience more intense thermal runaway; in hydrothermal synthesis, flow and nucleation conditions may change with reactor geometry; in sol-gel processing, solvent removal can become diffusion-limited. Successful scale-up therefore requires identification of the dimensionless or rate-controlling parameters that preserve the physical mechanism of the laboratory process.

Quality control during scale-up benefits from rapid analytical methods. XRD can provide a routine check of phase purity, while particle-size analysis and specific-surface-area measurements can monitor powder consistency. Spectroscopic methods may detect residual organics or changes in oxidation state. For industrially relevant production, statistical process control becomes useful when repeated batches are available. Rather than relying on a single "representative" sample, distributions of key characteristics can be tracked, allowing the process window to be defined in quantitative terms.

In addition to experimental optimization, modeling can help identify sensitive synthesis variables. Thermodynamic calculations can predict stable phase assemblages as a function of temperature, composition, and oxygen activity. Kinetic models can estimate diffusion-controlled reaction times or nucleation rates, while population-balance approaches can describe particle growth and aggregation. Computational fluid dynamics is relevant to flow reactors and microwave or combustion systems where spatial gradients are important. The value of a model lies not only in numerical prediction but also in revealing which variables should be measured experimentally.

Data-driven approaches are increasingly relevant because synthesis literature contains a large but fragmented body of information on composition, temperature, time, precursor identity, atmosphere, and product phase. Automated extraction of such data can support statistical analysis and machine-learning models, but the usefulness of these tools depends strongly on data quality. Inconsistent reporting, missing negative results, and differences in characterization thresholds can bias learned relationships. Therefore, digital synthesis planning should complement, rather than replace, chemical reasoning and well-designed experiments.

The design of experiments offers a practical intermediate strategy between one-factor-at-a-time optimization and fully autonomous laboratories. Factorial and response-surface methods can identify interactions among variables such as temperature, pH, precursor ratio, and dwell time using fewer experiments than exhaustive screening. This is particularly valuable because synthesis variables are rarely independent. For example, the optimum dwell time can change with temperature, and the effect of pH can depend on the ligand-to-metal ratio. Statistical experimental design also provides an explicit framework for estimating uncertainty and reproducibility.

Uncertainty should be considered both in synthesis and in characterization. Instrumental uncertainty, sampling error, batch-to-batch variation, and fitting assumptions can all affect reported values. A crystallite size derived from peak broadening, for instance, depends on the line-shape model and instrumental correction; a BET surface area depends on the selected relative-pressure range; and an elemental composition from EDS depends on calibration and matrix effects. When structure-property relationships are subtle, uncertainty estimates can determine whether an apparent trend is physically meaningful.

For educational and research practice, modern inorganic synthesis is especially valuable because it integrates several areas of chemistry and materials science. Successful synthesis requires understanding of thermodynamics, kinetics, coordination chemistry, acid-base equilibria, solid-state structure, phase diagrams, and instrumental analysis. At the same time, the field encourages responsible experimental planning, because pressure, high temperature, reactive oxidizers, fuels, fine powders, and corrosive media may introduce significant hazards. Appropriate risk assessment and control measures are therefore part of good synthetic practice rather than an external administrative requirement.

Overall, the most effective synthesis strategy is usually the one that matches the mechanism of the chosen route to the property that must be controlled. High chemical homogeneity favors solution-derived precursors; precise crystal morphology favors controlled nucleation and growth; low solvent consumption favors solid-state or mechanochemical processing; high crystallinity at moderate temperature favors hydrothermal routes; and rapid heat generation can favor combustion or microwave-assisted methods. The practical task is not to maximize every favorable parameter simultaneously, but to identify the small set of structural variables that dominate the intended function and to design the synthesis around them.

An important direction in the development of functional inorganic materials is the deliberate control of metastable states. In many systems, the phase with the most desirable electrical, magnetic, optical, or catalytic properties is not the equilibrium phase under ambient conditions. Such phases can nevertheless be isolated if the synthesis route provides sufficiently rapid nucleation, limited diffusion, or fast cooling. Hydrothermal, solvothermal, mechanochemical, microwave-assisted, and combustion routes are especially useful in this respect because they create non-equilibrium conditions that differ substantially from those of conventional furnace synthesis. The ability to access metastable products broadens the compositional and structural space available for materials design, but it also places greater demands on characterization. A phase identified immediately after synthesis may transform during storage, heating, or functional testing, so thermal stability and phase evolution should be assessed whenever metastability is relevant.

The kinetics of nucleation and crystal growth provide a useful framework for interpreting many synthesis outcomes. A high nucleation rate combined with limited growth generally favors small crystallites and narrow particle-size distributions, whereas a low nucleation rate followed by prolonged growth tends to generate larger

and more highly faceted crystals. In solution-based methods, supersaturation is the principal driving force for nucleation, and it can be modified through precursor concentration, pH, temperature, solvent composition, complexation, and rate of reagent addition. In solid-state systems, nucleation is concentrated at interfaces, defects, grain boundaries, and mechanically activated regions. Understanding where and when nuclei form is therefore critical for controlling final microstructure. This mechanistic viewpoint is more informative than simply listing synthesis parameters because it connects experimental conditions with the physical processes that determine the product.

Surface chemistry becomes increasingly important as particle size decreases. Nanoparticles contain a large fraction of atoms at or near surfaces, and these atoms often have lower coordination numbers and different electronic environments from those in the bulk. Adsorbed water, hydroxyl groups, carbonate species, residual surfactants, and solvent-derived ligands can therefore influence measured properties. For example, surface hydroxylation may alter catalytic activity, proton conductivity, colloidal stability, or sintering behavior. In magnetic nanoparticles, surface disorder can reduce magnetization, while in luminescent materials surface defects may act as radiative or non-radiative recombination centers. Consequently, drying and post-treatment conditions should be considered part of the synthesis protocol rather than merely sample preparation steps.

The relationship between crystallinity and functionality is not always straightforward. High crystallinity is generally desirable when long-range order controls the target property, as in many dielectric, ferroelectric, magnetic, or optical materials. However, partially amorphous or defect-rich products may be advantageous in catalysis, electrochemistry, and ion storage because disorder can provide reactive sites and diffusion pathways. Thus, the appropriate degree of crystallinity depends on the intended function. Excessive annealing may improve phase order but reduce surface area, eliminate useful defects, or cause particle coarsening. Conversely, insufficient heat treatment may preserve a highly reactive structure but leave residual precursors or unstable intermediate phases. Optimal processing therefore requires balancing structural order against defect concentration, surface area, and kinetic accessibility.

For multicomponent oxides, cation distribution is a key structural variable that is often overlooked in routine characterization. Two samples with the same overall composition and crystal structure can exhibit different properties if cations occupy crystallographic sites in different proportions. Such differences can result from synthesis temperature, cooling rate, precursor chemistry, and oxygen activity. In spinel ferrites, for example, redistribution of divalent and trivalent cations between tetrahedral and octahedral sites strongly affects magnetic behavior. Similar ordering effects occur in perovskites, layered oxides, and mixed-metal phosphates. Establishing cation distribution may require complementary techniques such as Raman spectroscopy, X-ray absorption spectroscopy, neutron diffraction, Mössbauer spectroscopy, or carefully refined diffraction data, depending on the elements involved.

The reproducibility of functional properties should be evaluated independently from the reproducibility of phase composition. Two batches can display nearly identical XRD patterns yet differ in conductivity, dielectric loss, catalytic activity, or magnetic response because of differences in defects, grain boundaries, surface chemistry, or residual impurities below the detection limit of routine diffraction. For this reason, repeated synthesis and repeated functional measurements are necessary when establishing a reliable processing-property relationship. Reporting only the best-performing specimen can obscure batch-to-batch variability and make transfer of the method to another laboratory difficult. A robust synthesis route should produce not only the target phase but also a consistent range of functional characteristics.

The design of experimental series is especially important when several synthesis variables interact. One-variable-at-a-time optimization can miss such interactions and may lead to misleading conclusions. For instance, the effect of calcination temperature can depend strongly on precursor particle size, heating rate, and atmosphere; the effect of pH in a hydrothermal system may depend on ligand concentration and the identity of the mineralizer. Statistical design of experiments offers a more efficient way to investigate such multidimensional spaces. Factorial designs, response-surface methods, and related approaches can identify significant interactions and define process windows in which phase purity and functional properties remain stable despite moderate variations in individual parameters.

The increasing availability of automated characterization also creates opportunities for higher-throughput synthesis. Powder XRD, optical spectroscopy, thermal analysis, and selected microscopic methods can be integrated with robotic or semi-automated preparation to generate large, internally consistent datasets. Such workflows are particularly valuable for compositional libraries in which a dopant level or cation ratio is varied systematically. However, automation does not eliminate the need for chemical interpretation. High-throughput methods can identify trends and promising regions of parameter space, but mechanistic understanding is required to determine whether an observed optimum is general, transferable, and stable under practical operating conditions.

Sustainability considerations are becoming more important in the selection of inorganic synthesis routes. Traditional evaluation focused primarily on yield and purity, whereas contemporary assessment increasingly includes solvent use, energy consumption, toxicity of precursors, waste generation, reaction time, and potential for recycling process media. Water-based routes are often favored, but even aqueous methods may generate large volumes of salt-containing wastewater. Organic solvents can offer superior control over crystal growth but may introduce toxicity, flammability, or recovery requirements. Similarly, mechanochemical methods reduce solvent consumption but consume electrical energy and may require replacement of worn milling media. A balanced evaluation must therefore consider the entire process rather than a single apparently “green” parameter.

In addition to environmental metrics, process safety must be integrated into synthesis design. Hydrothermal and solvothermal methods operate under pressure,

combustion processes involve rapid exothermic reactions, and some precursor combinations can release corrosive or toxic gases during thermal decomposition. Fine powders may also present inhalation or dust hazards. Scale-up can intensify all of these risks because heat generation and gas evolution increase faster than heat dissipation in larger batches. Therefore, safe reactor design, controlled addition rates, pressure relief, ventilation, and appropriate personal protective measures are fundamental aspects of responsible inorganic synthesis.

The practical value of a synthesis route also depends on compatibility with subsequent processing. Functional powders are often pressed, sintered, deposited as films, incorporated into composites, or fabricated into porous structures. These later stages can substantially modify the microstructure produced during synthesis. For example, a nanocrystalline powder may undergo rapid grain growth during sintering, while a highly porous combustion-derived powder may compact poorly without granulation. Likewise, residual surface ligands from solution synthesis can affect binder adhesion or film formation. It is therefore useful to evaluate synthesis and downstream processing as a connected sequence rather than as independent tasks.

For ceramic materials, sintering behavior is closely related to powder characteristics. Fine particles and high defect concentrations generally enhance densification, but excessive agglomeration can produce heterogeneous shrinkage and residual porosity. Dopants introduced during synthesis may segregate to grain boundaries and either promote or inhibit grain growth. In dielectric and ionic-conducting ceramics, grain boundaries can contribute substantially to the overall electrical response, making microstructural control particularly important. Thus, the most reactive powder is not necessarily the best precursor for a dense functional ceramic if it leads to exaggerated grain growth or difficult-to-control shrinkage.

For catalytic and electrochemical applications, the opposite requirement may apply: high surface area, accessible porosity, and defect-rich surfaces are often more important than high density. Here, mild calcination, templating, controlled precipitation, or combustion-derived porous structures may provide better performance. Nevertheless, the apparent activity of a material should be normalized carefully, because increases in performance may arise simply from higher surface area rather than intrinsically improved surface chemistry. Comparing turnover frequency, specific activity, or performance normalized to electrochemically active surface area can help distinguish geometric from chemical effects where appropriate.

The choice of characterization technique should therefore be driven by the hypothesis being tested. If a change in synthesis conditions is expected to alter phase composition, XRD is essential. If the expected effect concerns particle morphology, electron microscopy and particle-size analysis are more informative. If defect chemistry or oxidation state is central, spectroscopic methods should be emphasized. No single technique can fully characterize a complex functional material, and agreement between complementary methods provides a stronger basis for interpretation. This principle is particularly important when structural differences are subtle but functional changes are large.

In this context, the synthesis-structure-property relationship can be regarded as an iterative rather than linear process. Initial synthesis conditions generate a material with a particular structure; characterization reveals deviations from the intended state; the synthesis is then modified based on those observations. Repetition of this cycle gradually narrows the acceptable process window and improves understanding of the mechanism. The most informative experiments are often those designed to discriminate between competing explanations rather than merely to maximize a single performance metric. Such an iterative approach is central to modern materials chemistry and supports more reliable translation from laboratory discovery to practical application.

CONCLUSION

Modern inorganic synthesis is evolving from empirical preparation of compounds toward controlled design of materials with targeted structure and functionality. Solid-state, sol-gel, hydrothermal/solvothermal, mechanochemical, microwave-assisted, combustion, and molten-salt routes each provide distinct mechanisms for controlling mass transport, nucleation, crystal growth, defect chemistry, and morphology. The most promising strategies combine complementary methods with integrated physicochemical characterization, rational precursor selection, digital process planning, and resource-efficiency criteria in order to achieve reproducible, scalable, and function-oriented synthesis.

REFERENCES

1. West A. R. Solid State Chemistry and its Applications. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2014. 582 p.

2. Aykol M., Montoya J. H., Hummelshøj J. Rational Solid-State Synthesis Routes for Inorganic Materials. *Journal of the American Chemical Society*. 2021. Vol. 143, No. 24. P. 9244–9259. DOI: 10.1021/jacs.1c04888.

3. Kessler V. G., Seisenbaeva G. A. Molecular mechanisms of the metal oxide sol-gel process and their application in approaches to thermodynamically challenging complex oxide materials. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2023. Vol. 107. P. 190–200. DOI: 10.1007/s10971-023-06120-y.

4. Feng S., Xu R. New Materials in Hydrothermal Synthesis. *Accounts of Chemical Research*. 2001. Vol. 34, No. 3. P. 239–247. DOI: 10.1021/ar0000105.

5. Walton R. I. Perovskite Oxides Prepared by Hydrothermal and Solvothermal Synthesis: A Review of Crystallisation, Chemistry, and Compositions. *Chemistry – A European Journal*. 2020. Vol. 26, No. 42. P. 9041–9069. DOI: 10.1002/chem.202000707.

6. Dunne P. W., Starkey C. L., Gimeno-Fabra M. et al. Continuous-flow hydrothermal synthesis for the production of inorganic nanomaterials. *Chemical Reviews*. 2017. Vol. 117, No. 17. P. 11125–11238. DOI: 10.1021/acs.chemrev.6b00417.

7. Tsuzuki T. Mechanochemical synthesis of metal oxide nanoparticles. *Communications Chemistry*. 2021. Vol. 4. Art. 143. DOI: 10.1038/s42004-021-00582-3.

8. Yin Z., Li S., Li X. et al. A review on the synthesis of metal oxide nanomaterials by microwave induced solution combustion. *RSC Advances*. 2023. Vol. 13. P. 3265–3277. DOI: 10.1039/D2RA07936D.

9. Liu G., Chen K., Li J. Combustion synthesis: An effective tool for preparing inorganic materials. *Scripta Materialia*. 2019. Vol. 157. P. 167–173. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2018.08.022.

10. Mao Y. et al. A review on molten salt synthesis of metal oxide nanomaterials: Status, opportunity, and challenge. *Progress in Materials Science*. 2021. Vol. 117. Art. 100734. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2020.100734.

5.2. Methodological Foundations of Modern Scientific Research in Chemistry

Scientific research in chemistry is a structured process for producing reliable knowledge about substances, transformations, properties, and mechanisms. Although chemistry is an experimental science with a long tradition of reproducible laboratory procedures, the complexity of modern materials, multistep syntheses, analytical platforms, computational workflows, and data-intensive experiments has made methodology increasingly important. The quality of a study depends not only on whether an experiment "works," but also on whether the research question is clearly defined, variables are controlled, measurements are fit for purpose, uncertainty is understood, data are traceable, and conclusions are proportionate to the evidence. Contemporary methodology therefore integrates chemical reasoning with experimental design, metrology, statistics, documentation, and responsible scientific communication [1–4].

A useful starting point is the distinction between a research topic and a research problem. A topic identifies an area of interest, whereas a problem expresses a specific gap in knowledge that can be addressed through evidence. In chemistry, a well-formulated problem should indicate what is unknown, why the unknown matters, and what observable outcomes could reduce the uncertainty. For example, asking whether a new catalyst is "better" is methodologically weak unless "better" is defined through measurable criteria such as conversion, selectivity, turnover frequency, stability, cost, or tolerance to impurities. The transition from a broad topic to an operational research problem is therefore the first act of methodological discipline.

A hypothesis is a reasoned proposition that connects the research problem with an expected experimental outcome. In chemical research, hypotheses may be mechanistic, structural, analytical, or predictive. A mechanistic hypothesis can propose that a reaction rate is controlled by a particular elementary step; a structural hypothesis can relate a spectroscopic signal to a coordination environment; an analytical hypothesis can propose that a matrix component affects signal recovery; and a predictive hypothesis can relate composition to a material property. A useful hypothesis must be testable and, at least in principle, vulnerable to evidence that does not support it. This does not mean that every study requires formal null-hypothesis testing, but it does mean that experimental design should permit meaningful discrimination between competing explanations.

Research objectives translate the problem and hypothesis into a sequence of achievable tasks. Objectives should distinguish between description, comparison, optimization, validation, and explanation. Descriptive research characterizes

composition, structure, or behavior; comparative research evaluates differences between samples or conditions; optimization seeks conditions that maximize or minimize a response; validation establishes whether a method or procedure is fit for its intended purpose; explanatory research tests causal or mechanistic relationships. Confusion among these objectives can lead to mismatched methods. For instance, an optimization experiment may identify conditions that maximize yield without explaining why the optimum occurs, whereas a mechanistic study requires experiments designed specifically to distinguish causal pathways.

The literature review serves two methodological functions. First, it establishes the current state of knowledge and prevents unnecessary duplication. Second, it reveals how previous conclusions were generated, including the experimental conditions, measurement methods, statistical assumptions, and limitations. A strong literature review in chemistry therefore goes beyond summarizing conclusions. It should examine whether studies used comparable materials, concentrations, temperatures, instruments, calibration strategies, and reporting conventions. Apparent contradictions in the literature frequently result from differences in experimental definitions rather than from fundamentally incompatible chemistry.

Critical reading also requires attention to the quality of evidence. A single highly cited paper does not automatically provide stronger evidence than several carefully controlled studies. Researchers should distinguish primary experimental reports from reviews, preprints, databases, standards, and manufacturer documentation. Reviews are valuable for orientation, but important claims should be traced to primary sources when possible. In fast-moving fields, preprints can provide timely information but have not necessarily undergone peer review. Methodological guidance from organizations such as Eurachem is especially important in analytical chemistry because it provides consensus terminology and structured approaches to validation and measurement quality [3, 4].

The experimental stage begins with operational definitions. Every variable must have a practical meaning that can be measured or controlled. Independent variables are deliberately changed; dependent variables are measured as responses; controlled variables are kept sufficiently constant to avoid confounding. In chemical experiments, temperature, pressure, pH, concentration, reagent purity, atmosphere, mixing rate, reaction time, sample geometry, and instrument settings can all act as relevant variables. The challenge is that many of them interact. A change in pH may alter speciation and solubility simultaneously, while a change in temperature may affect equilibrium, kinetics, viscosity, and mass transfer. Therefore, the chemical mechanism should guide variable selection.

Controls are essential for interpreting experimental outcomes. A blank determines the response in the absence of the analyte or active component; a negative control tests whether the expected effect disappears when a critical factor is removed; a positive control demonstrates that the experimental system can produce a known response. In synthesis, a control may involve omission of a catalyst, ligand, dopant, or treatment step. In analytical chemistry, reagent blanks, matrix blanks, fortified samples, reference

materials, and independent standards provide complementary information. Controls should be chosen to answer specific interpretive questions rather than added as a routine formality.

Replication must also be defined carefully. Technical replicates estimate variability associated with measurement or sample handling, whereas independent experimental replicates include more of the variability associated with separate preparations or runs. Repeating the same instrumental reading several times can produce a small standard deviation while failing to capture variation in synthesis, sampling, or extraction. Thus, the level of replication should correspond to the scientific claim. If the conclusion concerns the reproducibility of a synthetic procedure, independent syntheses are more informative than repeated measurements of a single batch.

Randomization reduces systematic bias by preventing experimental order from being confounded with treatment. In chemical laboratories, instrument drift, reagent aging, environmental conditions, and operator learning can create time-dependent effects. Randomized run order distributes such influences more evenly across conditions. Blocking can be used when experiments must be performed in different days, batches, instruments, or operators. The block factor is then included explicitly in the analysis rather than ignored. These principles are central to design of experiments because they separate treatment effects from nuisance variation.

Design of experiments (DoE) extends these ideas by studying several factors simultaneously. One-factor-at-a-time experiments are intuitive but inefficient when factors interact. Factorial designs estimate main effects and interactions in a structured way, while fractional factorial designs reduce the number of runs when many factors are screened. Response-surface designs are useful for optimization after influential factors have been identified. In chemistry, DoE can be applied to reaction yield, chromatographic separation, extraction efficiency, formulation properties, catalyst performance, synthesis conditions, or analytical robustness. The purpose is not merely statistical efficiency but better chemical understanding of multidimensional process behavior.

Statistical planning should occur before data collection. Sample size, number of replicates, expected variability, decision criteria, and intended analysis influence the experiment itself. Retrospective application of statistical tests cannot compensate for an underpowered or confounded design. At the same time, chemical significance and statistical significance are not identical. A small difference can be statistically detectable yet chemically irrelevant, while a practically important effect can remain uncertain if variability is large. Therefore, effect size, confidence intervals, and uncertainty should accompany p-values when inferential statistics are used.

Exploratory data analysis is a valuable first step after data collection. Graphical inspection can reveal outliers, nonlinearity, heteroscedasticity, drift, multimodal distributions, and possible data-entry errors. Summary statistics should be selected with awareness of distributional shape. Means and standard deviations are informative for approximately symmetric data without strong outliers, whereas medians and robust spread measures may be more appropriate for skewed datasets. Transformations can

sometimes stabilize variance or linearize relationships, but they should have a chemical or statistical rationale rather than be used to force agreement with a preferred model.

Calibration is one of the clearest examples of how chemical measurement and statistical modeling intersect. A calibration function relates instrument response to known reference quantities. The validity of the model depends on the range, number and distribution of calibration points, preparation of standards, weighting, blank treatment, and residual behavior. A high coefficient of determination alone is not evidence of adequate calibration. Residual plots, lack-of-fit assessment, independent check standards, and evaluation of the working range provide more relevant information. The calibration model must be appropriate for the intended concentration domain and matrix.

Metrological traceability links a measurement result to a reference through an unbroken chain of calibrations, each contributing to uncertainty. In chemical measurement, traceability may involve certified reference materials, gravimetric preparation, calibrated volumetric equipment, reference standards, and validated measurement procedures. Traceability is not the same as instrumental calibration alone. It concerns the entire measurement result and the references on which that result depends. This is especially important when results are compared across laboratories, regulatory limits, or long time periods.

Measurement uncertainty expresses doubt associated with a measured value and is inseparable from quantitative interpretation. Sources can include sampling, sample preparation, calibration, instrumental repeatability, reference values, environmental effects, and operator decisions. Some components are evaluated statistically from repeated observations, while others are based on calibration certificates, specifications, prior studies, or reference information. The objective is not to list every conceivable influence but to identify components that materially affect the result and combine them in a transparent manner. Eurachem guidance has long emphasized that uncertainty information supports sound comparison and decision-making in analytical measurement [3].

Method validation provides documented evidence that an analytical procedure is suitable for its intended use. The 2025 Eurachem guide frames validation around fitness for purpose and includes planning, sampling and sample handling, performance characteristics, statistical evaluation, reporting, and use of validation information in quality control [4]. Typical characteristics include selectivity, working range, sensitivity, precision, trueness, detection capability, robustness, and uncertainty. Not every method requires the same depth of validation; the scope should be proportional to the intended decision, matrix complexity, risk, and prior knowledge.

Precision describes the closeness of agreement among replicate results under specified conditions. Repeatability refers to conditions with limited variation, such as the same laboratory, operator, equipment, and short time interval. Intermediate precision intentionally includes within-laboratory sources such as different days, analysts, or instruments. Reproducibility traditionally refers to variation across laboratories. These concepts are important because a method can appear precise under

narrow repeatability conditions while performing poorly when transferred or used over time. Validation should therefore reflect realistic operating conditions.

Trueness concerns systematic deviation from a reference value. It can be assessed through certified reference materials, comparison with a reference method, spike-recovery studies, or interlaboratory comparisons. Recovery experiments are useful but must be interpreted carefully because a spike may not behave identically to analyte naturally incorporated in the matrix. Selectivity examines the ability to measure the target quantity in the presence of potentially interfering species. In modern instrumental methods, selectivity is often distributed across sample preparation, chromatographic or spectral separation, and data processing rather than located in a single step.

Robustness evaluates the sensitivity of method performance to small deliberate variations in operating conditions. It is especially valuable before routine implementation because it reveals factors that require tight control. For example, modest changes in mobile-phase composition, extraction time, pH, column temperature, or derivatization conditions may have little or substantial influence on a result. A structured robustness study is often more informative than informal testing because interactions between factors can be detected. DoE is therefore naturally connected with method validation.

Quality assurance extends beyond validation. Internal quality control monitors whether a validated method continues to operate as expected. Control samples, reference materials, duplicates, blanks, and control charts can reveal drift or sudden shifts. External quality assessment through proficiency testing compares laboratory performance with peers or assigned values. Together, validation and quality control distinguish initial demonstration of capability from ongoing evidence of stable performance. This distinction is critical because even a well-validated method can deteriorate through instrument changes, reagent problems, operator turnover, or undocumented procedural modifications.

Reproducibility is a defining expectation of scientific research, yet it is not achieved merely by reporting that an experiment was repeated. Contemporary discussions in chemistry emphasize the importance of detailed experimental descriptions, access to data, transparent processing, appropriate controls, and restraint in interpretation [5, 6]. The 2024 review by Ciriminna and co-workers notes that chemistry contains many highly reproducible experimental traditions while also facing challenges associated with incomplete reporting, publication incentives, and complex systems [5]. Reproducibility should therefore be treated as a property of the entire research workflow rather than a final checkbox.

Transparent reporting requires sufficient detail for a knowledgeable researcher to understand what was done. This includes reagent identity and purity, supplier where relevant, pretreatment, quantities, concentrations, reaction atmosphere, vessel characteristics, heating and cooling profiles, work-up steps, purification, instrument model, measurement settings, calibration, data-processing procedures, and criteria for excluding data. “Standard conditions” should be avoided when the meaning is not

universal. In materials chemistry, details such as sample activation, drying, grinding, particle size, and storage history can be decisive even when they appear routine.

Negative and null results also have methodological value. If only successful experiments are reported, the literature can create an exaggerated impression of robustness. Failed reactions, unstable materials, non-significant trends, and conditions that produce no improvement can delimit the process space and prevent repetition of unproductive approaches. Open science and structured repositories create opportunities to preserve such information, although incentives for publishing negative results remain limited. From a methodological perspective, documenting failure is especially important during optimization because the boundary of failure often contains mechanistic information.

Research integrity is inseparable from methodology. Fabrication, falsification, and plagiarism represent clear violations, but less visible practices can also distort evidence: selective reporting of favorable replicates, arbitrary removal of outliers, changing hypotheses after seeing results without disclosure, inappropriate image manipulation, or presenting exploratory analyses as confirmatory. Good methodology reduces these risks by specifying plans, preserving raw data, documenting decisions, and separating observation from interpretation. Integrity is therefore supported not only by ethical rules but also by transparent research design.

Data management has become a central component of chemical methodology. Raw spectra, chromatograms, diffraction patterns, microscopy images, instrument logs, scripts, processed tables, and metadata can form a complex digital record. A useful data-management plan defines file organization, naming conventions, version control, backup, access permissions, metadata, retention, and eventual sharing. The objective is to preserve the chain from raw observation to reported figure or table. Without such provenance, later verification or reanalysis becomes difficult even for the original research group.

The FAIR principles state that data should be Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable. These principles do not require all data to be openly accessible without restriction; rather, they emphasize persistent identifiers, rich metadata, clear access conditions, standardized formats, and sufficient contextual information for reuse. In chemistry, implementation can be challenging because data formats are heterogeneous and instrument vendors often use proprietary structures. Nevertheless, FAIR-oriented practices improve long-term value by separating scientific information from a single software environment or local computer.

Electronic laboratory notebooks can strengthen documentation by linking observations, protocols, sample identifiers, calculations, and instrument files. Their value depends on disciplined use rather than software alone. A poorly structured electronic notebook can be as difficult to interpret as incomplete paper notes. Effective systems use consistent sample identifiers, timestamps, controlled vocabularies where possible, and links between experimental batches and analytical results. Electronic notebooks also support collaborative research by reducing reliance on personal memory and undocumented local conventions.

Computational work requires the same level of methodological transparency as wet-laboratory experiments. Scripts, software versions, parameter files, random seeds, model architecture, training data, preprocessing steps, and evaluation metrics can materially affect results. Reproducibility may fail if code depends on undocumented libraries or if training and test data are not clearly separated. In data-driven chemistry, model performance should be evaluated on data that reflect the intended use rather than only on convenient benchmark splits. Chemical plausibility and domain limits must be considered alongside numerical metrics.

The growing role of data science in experimental chemistry has been emphasized by Yano and co-workers, who described how data-centric approaches can improve the extraction of information from complex measurements and guide experimental strategy [7]. Data science is not a substitute for chemical expertise; it is most effective when models are connected to mechanisms, measurement limitations, and domain knowledge. Multivariate methods can reveal patterns invisible in single-variable analysis, but correlations should not be interpreted automatically as causal relationships. Experimental follow-up remains essential.

Machine learning can support classification, regression, prediction of properties, reaction optimization, spectral interpretation, and prioritization of experiments. However, methodological rigor requires attention to dataset size, representativeness, leakage, imbalance, uncertainty, and external validation. A model that performs well within a narrow chemical space may fail when applied to new structures or experimental conditions. Reporting should therefore include domain of applicability and error analysis, not only average predictive performance. Where possible, chemically meaningful baselines should be used to determine whether a complex model provides real improvement.

Automation introduces another methodological layer. Automated liquid handling, synthesis platforms, autosamplers, reaction screening, and robotic characterization can increase throughput and reduce some forms of operator variability. At the same time, automation can reproduce errors at scale if the workflow is incorrectly specified. Calibration, preventive maintenance, exception handling, sensor validation, and traceable software control are therefore part of experimental quality. Human oversight remains essential for recognizing unusual events that fall outside programmed assumptions.

Self-driving laboratories combine automated experiments with algorithmic decision-making so that results from one experimental cycle influence the choice of the next experiment. Recent reviews describe rapid growth of these platforms in chemistry and materials science, supported by robotics, optimization algorithms, laboratory orchestration software, and machine learning [8]. Their promise lies in efficient exploration of large experimental spaces and more systematic documentation. However, performance depends on how the objective function is defined, how experimental failures are handled, how uncertainty is modeled, and whether the search space reflects chemically meaningful constraints.

Tom and co-workers provide a broad 2024 review of self-driving laboratories and emphasize the integration of physical automation with data-driven decision-making [8]. Volk and Abolhasani similarly argue that performance metrics for autonomous laboratories must be chosen carefully because optimization speed alone does not capture platform capability across different problems [9]. These observations have direct methodological significance: sophisticated automation does not remove the need to define what constitutes success. A poorly chosen objective can efficiently optimize the wrong quantity.

Accessible automation is also becoming an educational and methodological issue. Lo and co-workers introduced the concept of low-cost "frugal twins" as simplified platforms for learning autonomous experimentation, software integration, and optimization [10]. Such systems illustrate that advanced research methodology is not limited to expensive robotics. Even small-scale automated experiments can teach important principles of modular design, feedback, data provenance, and algorithmic decision-making. The broader lesson is that methodological innovation can be developed incrementally rather than requiring full laboratory autonomy from the outset.

The relationship between automation and human expertise should be viewed as complementary. Algorithms are effective at systematic search, pattern recognition, and repetitive execution, while chemists provide causal reasoning, problem reformulation, safety judgment, and interpretation of unexpected outcomes. The strongest research systems therefore maintain a human-in-the-loop approach, especially when data are sparse or the experimental space is poorly understood. Automation can free time from routine operations, but it also creates new responsibilities in software validation, metadata management, and critical evaluation of algorithmic suggestions.

Safety is a methodological requirement because an unsafe experiment cannot be considered well designed. Risk assessment should identify hazards associated with substances, pressure, temperature, flammability, toxicity, corrosivity, reactivity, gas evolution, radiation, high voltage, cryogenic systems, and fine powders. Controls follow a hierarchy that prioritizes elimination or substitution where feasible, then engineering controls, administrative procedures, and personal protective equipment. In automated laboratories, safety logic must also include interlocks, sensor failures, emergency states, and conditions under which the system should stop rather than continue an optimization sequence.

Sustainability adds another dimension to methodological quality. A synthesis or analytical protocol can be scientifically successful yet inefficient in solvent, energy, reagents, or waste. Green chemistry metrics such as atom economy, process mass intensity, solvent intensity, and energy demand can be incorporated when they are relevant to the research objective. Sustainability claims should be quantitative wherever possible. A lower reaction temperature does not automatically imply a greener process if the method requires large solvent volumes, expensive precursors, extensive purification, or energy-intensive drying.

Sampling deserves particular attention because no analytical method can compensate for a non-representative sample. Sampling uncertainty can exceed instrumental uncertainty, especially for heterogeneous materials, environmental matrices, particulate systems, and industrial products. The sampling plan should define the population of interest, sampling units, number and location of increments, homogenization, storage, preservation, and subsampling. Recent Eurachem guidance has expanded attention to validation of measurement procedures that include sampling, reinforcing the concept that the measurement process begins before the sample reaches the instrument [3, 4].

Reference materials provide an important bridge between chemical measurement and comparability. Certified reference materials are characterized for specified properties with documented uncertainty and traceability. Their use can support calibration, trueness assessment, quality control, and method verification. However, a reference material should be sufficiently similar to the real samples in matrix and analyte level for the intended purpose. When an exact matrix match is unavailable, researchers should explain the limitations and supplement the assessment with recovery studies, alternative methods, or interlaboratory comparison.

Interlaboratory studies test whether a method or result remains reliable outside the originating research group. They expose sources of variation that are invisible within a single laboratory, including differences in operators, equipment, local procedures, reagent sources, and interpretation. Such studies are especially valuable for emerging methods that are intended for broad adoption. A method that performs exceptionally in one expert laboratory may require additional standardization before it becomes transferable. Reproducibility across laboratories is therefore a stronger test than repeated success under tightly controlled local conditions.

Scientific visualization is part of methodology because figures influence interpretation. Axes, scales, normalization, smoothing, baseline correction, color maps, and selective cropping can alter the apparent strength of an effect. Good practice requires that visual processing preserve the underlying evidence and that transformations be disclosed. In spectroscopy and microscopy, raw or minimally processed data should be retained even when publication figures use corrected or enhanced representations. Error bars should be defined explicitly, and plotted summaries should not conceal the distribution of individual observations when sample sizes are small.

Scientific writing should separate results from interpretation as clearly as the format permits. Results describe what was observed; interpretation explains what those observations may mean. Overstatement occurs when conclusions extend beyond the sensitivity, selectivity, sample size, or experimental domain of the study. For example, an observed correlation between structural and functional variables does not by itself establish causation, and characterization of a limited set of compositions does not justify universal claims about an entire material family. Methodological maturity is reflected in precise statements of scope and limitation.

Peer review contributes to quality control but cannot substitute for robust research design. Reviewers do not usually have access to every raw observation, and they cannot reconstruct missing experimental detail. The responsibility for reproducibility therefore begins with the research team. Internal review before submission can include independent checking of calculations, verification that figures match source data, confirmation of sample identifiers, review of statistical analyses, and replication of key procedures by another researcher. Such internal practices can identify errors more effectively than reliance on external peer review alone.

The methodological foundations of chemistry are also educational. Training should develop the ability to formulate research questions, distinguish observation from inference, select appropriate controls, understand uncertainty, evaluate literature critically, manage data, and communicate limitations. Students who learn only procedural techniques may be able to perform experiments without understanding why a result is convincing. Conversely, strong theoretical knowledge without practical awareness of sampling, calibration, contamination, and instrument limitations can produce unrealistic experimental expectations. Research competence emerges from integration of chemical knowledge with evidence-based methodology.

Research planning benefits from a written protocol that records the objective, variables, controls, sampling plan, analytical procedures, acceptance criteria, statistical analysis, and safety considerations before the experimental series begins. Pre-specification does not eliminate scientific flexibility; unexpected observations may justify changes. The methodological requirement is to document changes and distinguish planned analyses from exploratory ones. This practice reduces unconscious bias and makes the reasoning process auditable. In confirmatory studies, preregistration can be particularly useful, although it remains less common in chemistry than in some other disciplines.

The concept of fitness for purpose provides a unifying principle. A method, model, dataset, or experimental design is not good in the abstract; it is adequate or inadequate for a specified decision. The level of precision required for screening may be different from that required for regulatory compliance. A qualitative identification method may not need the same calibration structure as a quantitative assay. A computational model intended to rank candidates may be acceptable with different error characteristics from one intended to predict absolute values. Clarifying the purpose prevents both under-validation and unnecessary methodological complexity.

Methodological quality is ultimately demonstrated by coherence among the research question, experimental design, measurements, analysis, and conclusion. Strong studies do not necessarily use the most expensive instruments or the most advanced algorithms. They use methods that directly address the question, quantify important sources of variation, retain traceable evidence, and acknowledge uncertainty. The continued development of digital laboratories, open data practices, and AI-based tools will expand the range of possible experiments, but the scientific value of those experiments will still depend on this coherence.

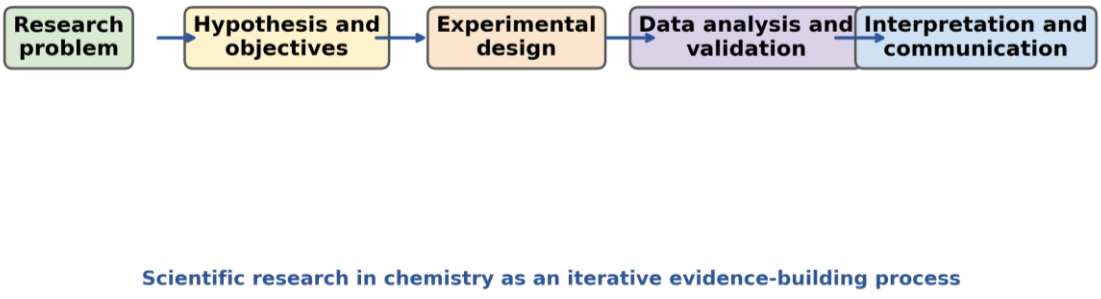


Figure 1. General logic of scientific research in chemistry

The iterative nature of research should be emphasized. Interpretation of one experiment often changes the next research question. A result that contradicts a hypothesis may reveal an uncontrolled variable, a hidden intermediate, an analytical interference, or a genuinely new phenomenon. The appropriate response is not to force the result into the initial expectation but to revise the model and design discriminating experiments. This cycle of hypothesis, experiment, evaluation, and revision is the practical core of the scientific method in chemistry.

The methodological framework is therefore simultaneously logical, experimental, quantitative, and documentary. Logic connects questions to predictions; experimentation generates observations; quantitative analysis evaluates signal relative to variation; documentation preserves the path from observation to conclusion. Weakness in any one component can undermine the others. Excellent statistical analysis cannot repair an unrepresentative sample, and detailed experimental notes cannot compensate for a poorly defined research question. The most reliable work integrates all four dimensions from the beginning.

Table 1. Methodological stages of chemical research and their principal tasks

Stage	Principal methodological tasks
Problem formulation	Define the knowledge gap, scope, relevance, and observable research question
Hypothesis and objectives	Specify testable expectations and distinguish descriptive, comparative, optimization, validation, and mechanistic aims
Experimental design	Select variables, controls, replication, randomization, blocking, sampling, and safety measures
Measurement	Use calibrated and fit-for-purpose procedures with traceability, quality control, and documented conditions
Data analysis	Apply exploratory analysis, suitable statistical models, uncertainty evaluation, and transparent data processing
Interpretation	Compare evidence with hypotheses, consider alternative explanations, define limitations, and

	avoid overstatement
Communication	Provide sufficient experimental detail, metadata, data provenance, references, and reproducible reporting

A practical quality system in research need not reproduce the full structure of an accredited testing laboratory, but the underlying concepts remain valuable. Instruments should be maintained and checked; reference materials should be appropriate; critical calculations should be verified; data should be backed up; deviations should be recorded; and procedures that materially affect results should be documented. The degree of formalization can be proportional to the scale and risk of the research, but complete informality makes it difficult to distinguish real chemical effects from procedural variation.

Quality indicators should be selected in relation to the intended claim. Accuracy, precision, selectivity, sensitivity, robustness, traceability, and uncertainty describe different aspects of measurement quality and should not be treated as interchangeable. Likewise, reproducibility is not simply another numerical performance characteristic. It reflects whether the combination of procedure, reporting, materials, and interpretation enables consistent results under stated conditions. The framework in Figure 2 summarizes these interconnected dimensions.

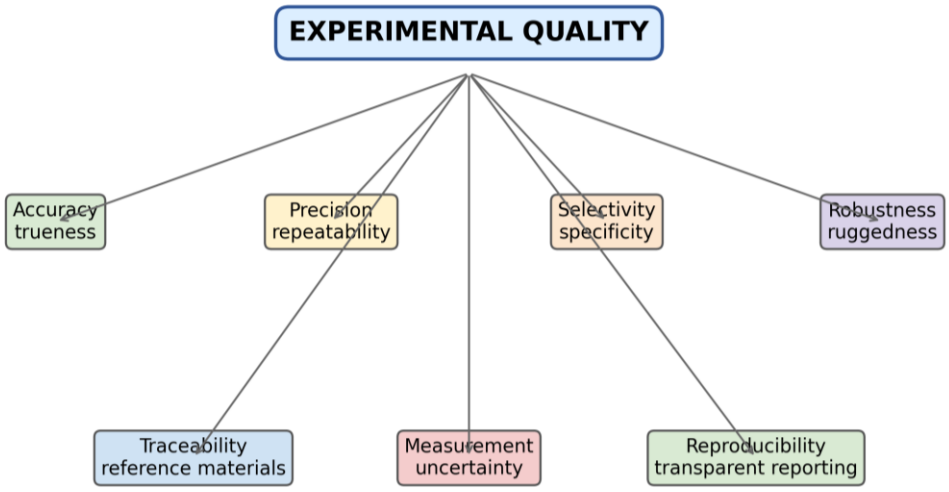


Figure 2. Interrelated dimensions of experimental quality in chemical research

Table 2. Common sources of error or uncertainty and methodological responses

Source	Possible effect	Methodological response
Sampling heterogeneity	Biased or highly variable results	Representative sampling plan, homogenization, replicate sampling
Reagent purity / contamination	Systematic bias, side reactions, false signals	Purity control, blanks, clean handling, alternative reagent lots
Instrument drift	Time-dependent bias	Calibration checks, control samples, randomization, control

		charts
Matrix effects	Suppression/enhancement or interference	Matrix-matched calibration, standard addition, recovery studies, separation
Operator variation	Inconsistent preparation or interpretation	Standardized procedures, training, intermediate-precision studies
Data-processing choices	Model-dependent or selective conclusions	Documented workflows, version control, sensitivity analysis, independent checking
Environmental conditions	Uncontrolled variability	Monitoring and, where necessary, control of temperature, humidity, atmosphere

Digitalization links many of the methodological elements discussed above. Electronic notebooks, repositories, laboratory information systems, version control, workflow software, and machine-readable metadata can preserve relationships among samples, procedures, instruments, code, and results. When these tools are integrated, the research record becomes easier to audit and reuse. When they are fragmented, digital abundance can paradoxically make provenance more difficult because files are distributed across personal computers, cloud drives, vendor software, and local naming conventions.

Figure 3 represents a digital research ecosystem in which FAIR data management, statistical design, automation, AI, electronic documentation, and open repositories support rather than replace chemical reasoning. The central requirement is interoperability among people, instruments, software, and data. Standards for identifiers, metadata, units, and file formats become increasingly important as automated systems exchange information without direct human interpretation

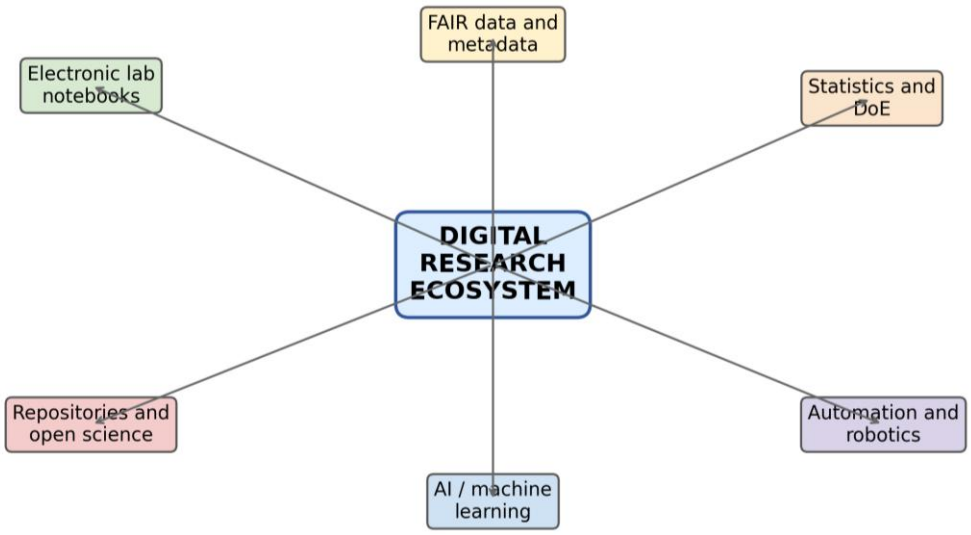


Figure 3. Components of a contemporary digital research ecosystem in chemistry

Table 3. Digital tools and their methodological value in chemical research

Tool or approach	Methodological value
Electronic laboratory notebook	Chronological documentation, sample traceability, links between protocols and data
FAIR data and repositories	Persistent identification, metadata, discoverability, controlled access, reuse
Design of experiments and statistical software	Efficient multifactor studies, interaction analysis, uncertainty and model evaluation
Version control and scripted analysis	Traceable changes, reproducible calculations, transparent data processing
Laboratory automation	Standardized execution, higher throughput, reduced repetitive manual operations
Machine learning / AI	Pattern recognition, prediction, prioritization, adaptive optimization
Self-driving laboratory	Closed-loop integration of automated experiments with algorithmic decision-making

The emergence of autonomous experimentation makes explicit a principle that has always been present in good research: the next experiment should be selected because it provides information, not merely because it is easy to perform. In manual research, this decision is made by the scientist using chemical intuition and prior results. In a self-driving system, an algorithm formalizes the decision criterion. This shift forces researchers to state the objective quantitatively, which can improve methodological clarity even when full automation is not used.

Current literature also highlights limitations of autonomous and data-driven methods. Published demonstrations often differ substantially in experimental dimensionality, cost, throughput, failure rates, and degree of automation, making direct comparison difficult [8–10]. Performance metrics therefore need context. A platform that rapidly optimizes a simple continuous variable may not be suitable for complex synthesis involving solids, purification, or qualitative observations. The scientific question should determine the platform rather than the availability of technology determining the question.

Open science can strengthen methodology by making publications, data, protocols, and code more accessible. However, openness without sufficient metadata does not guarantee reproducibility. A dataset may be downloadable but unusable if sample identities, units, calibration, preprocessing, or file structure are undocumented. Reusability requires context. For this reason, data publication should be treated as a research output requiring curation rather than as an afterthought consisting of a collection of files.

The same principle applies to supplementary information. In chemistry, supplementary files often contain critical synthetic procedures, spectra, calibration data, and computational details. These materials should be organized so that claims in the main text can be traced to evidence. Numbering, sample labels, filenames, and figure captions should remain consistent across the manuscript, supplementary information, and repositories. Inconsistent identifiers are a common source of avoidable ambiguity in collaborative projects.

Research methodology also benefits from explicit uncertainty in language. Terms such as "proves," "confirms," "excellent," or "significant" should be used with care unless the evidence supports them. Chemical conclusions are often conditional: a mechanism is consistent with current evidence, a method performs within a tested range, or a material shows a property under specified conditions. Such wording is not weakness. It accurately represents the scope of evidence and makes future refinement possible.

The development of methodological competence is therefore cumulative. Researchers learn not only techniques but also how to ask better questions, identify hidden assumptions, design informative controls, recognize artifacts, and judge whether evidence is sufficient. These abilities are transferable across analytical, inorganic, organic, physical, environmental, and materials chemistry. They also support interdisciplinary work because explicit methodology makes it easier for collaborators from different fields to understand the basis of a result.

Modern chemistry increasingly operates at the intersection of laboratory experimentation, computation, statistics, and data infrastructure. This convergence expands what can be studied but also increases methodological dependencies. A chemical result may rely on instrument firmware, a calibration model, a preprocessing script, a database, and an optimization algorithm in addition to reagents and glassware. Each component can influence the conclusion. Good methodology makes these dependencies visible and manages them in proportion to their importance.

Ultimately, the objective of methodology is not bureaucracy but trustworthy inference. Every methodological practice—controls, replication, validation, uncertainty, metadata, code sharing, quality control, or peer review—serves the same broader purpose: to strengthen the connection between what was observed and what is claimed. Chemistry advances when that connection is sufficiently clear that another researcher can evaluate, challenge, reproduce, or extend the work.

A further methodological issue concerns the distinction between exploratory and confirmatory research. Exploratory experiments are designed to discover patterns, identify promising variables, or generate hypotheses. They tolerate a wider range of analytical flexibility because their primary objective is learning. Confirmatory experiments test a pre-specified proposition under conditions chosen to minimize ambiguity. Problems arise when exploratory patterns are presented as if they had been predicted in advance. In chemistry, this can occur when many reaction conditions, spectral features, compositions, or correlations are examined and only the most favorable result is highlighted. A transparent report should therefore explain which analyses were planned and which emerged after inspection of the data. Follow-up experiments can then test the exploratory finding independently.

Outlier treatment illustrates the same principle. An unusual value may result from transcription error, instrument malfunction, contamination, sample heterogeneity, or genuine chemical behavior. Automatically deleting an outlier because it weakens a trend is methodologically unacceptable, but automatically retaining every value can also distort analysis when there is documented technical failure. The decision should be

based on pre-defined or scientifically justified criteria and recorded with the original data preserved. Robust statistical methods can reduce sensitivity to extreme values while avoiding arbitrary exclusion. When conclusions change substantially depending on one observation, that dependence should be reported explicitly.

Method comparison is another frequent task in chemistry. When a new analytical or synthetic procedure is proposed, comparison with an established method should address more than agreement of mean values. The relevant question is whether differences are acceptable for the intended purpose across the working range and sample types. Regression, bias plots, recovery studies, paired designs, and equivalence or agreement approaches may be more informative than a simple correlation coefficient. Two methods can be highly correlated while differing systematically. The comparison should also consider practical attributes such as analysis time, reagent consumption, sample preparation, detection capability, robustness, and cost.

Mechanistic research requires particularly careful alignment between evidence and inference. Kinetic isotope effects, reaction orders, activation parameters, intermediate detection, trapping experiments, isotope labeling, spectroscopic monitoring, and computational chemistry can each contribute evidence, but rarely establish a mechanism in isolation. A convincing mechanistic argument typically emerges from convergence of independent observations and exclusion of plausible alternatives. Methodological strength therefore increases when experiments are selected because different mechanistic models predict different outcomes. This principle of discriminating experiments is more powerful than collecting many observations that are all compatible with the same broad explanation.

In materials chemistry, structure-property relationships present analogous challenges. A material may differ simultaneously in phase composition, particle size, porosity, defect concentration, surface chemistry, and morphology. If only one of these characteristics is measured, attribution of a functional change to that variable can be premature. Comparative series should ideally vary one dominant structural factor while monitoring others, or statistical and multivariate methods should be used when controlled isolation is impossible. The methodological objective is to identify whether the proposed descriptor genuinely explains performance rather than merely correlating with it within a small set of samples.

Time is an experimental variable that is often underestimated. Reagents age, catalysts deactivate, surfaces adsorb contaminants, batteries cycle, polymers relax, metastable phases transform, and instrument sensitivity drifts. Measurements made immediately after synthesis may therefore not represent long-term behavior. Stability studies should define storage conditions, sampling intervals, and performance criteria. Where degradation is expected, kinetic modeling can help distinguish zero-order, first-order, diffusion-controlled, or more complex processes. Reporting the age and history of samples improves comparability among studies and prevents hidden time dependence from being interpreted as batch variability.

The laboratory environment can likewise influence sensitive experiments. Humidity affects hygroscopic salts and surface-bound water; atmospheric oxygen

changes redox-sensitive compounds; carbon dioxide alters alkaline solutions and carbonate equilibria; light induces photochemical reactions; trace metals can catalyze decomposition; and vibration or electromagnetic interference can affect some measurements. It is neither practical nor necessary to control every environmental variable, but relevant influences should be identified during method development. Robustness testing helps determine which conditions require explicit control and which can vary without materially affecting the result.

The concept of a research audit trail integrates these considerations. An audit trail is the sequence of records that permits reconstruction of how a reported number or figure was produced. It can include a sample identifier, synthesis record, instrument file, calibration information, processing script, statistical output, and final visualization. Maintaining this chain is increasingly feasible with electronic systems and should be considered a normal component of data integrity. When the trail is complete, corrections and reanalysis are possible without repeating the entire experiment; when it is incomplete, even small questions may require reconstruction from memory.

Collaboration introduces additional methodological needs because different researchers may use different terminology, units, naming conventions, and assumptions. At the beginning of a collaborative project, teams benefit from defining sample codes, metadata fields, file formats, responsibility for quality checks, and rules for versioning. Shared standard operating procedures can prevent gradual divergence among laboratories. For multicenter projects, pilot exchange of samples or data can reveal systematic differences before the main study begins. These organizational practices directly affect scientific comparability and therefore belong within research methodology.

Interdisciplinary chemistry also requires attention to the meaning of validation across fields. A machine-learning specialist may evaluate predictive error, an analytical chemist may focus on traceability and uncertainty, a synthetic chemist may prioritize isolated yield and selectivity, and a materials scientist may emphasize phase purity and functional performance. None of these perspectives is sufficient alone when a project crosses domains. Methodological planning should therefore identify what constitutes acceptable evidence for each disciplinary component and how the outputs connect. Explicit definitions reduce the risk that a result considered adequate in one field is overinterpreted in another.

Finally, research methodology should remain adaptable. Standards and guides provide valuable frameworks, but scientific innovation often creates situations not covered by established procedures. New instruments, unconventional samples, autonomous platforms, and AI-generated hypotheses can require modified validation strategies. Adaptation should be principled: the researcher identifies the purpose, relevant risks, measurable performance characteristics, and evidence required to demonstrate reliability. In this way, methodological rigor supports innovation rather than restricting it. The essential question remains whether another informed researcher can understand how the evidence was obtained, assess its limitations, and use it appropriately.

CONCLUSION

The methodological foundations of modern chemical research combine clear problem formulation, testable hypotheses, appropriate experimental design, fit-for-purpose measurement, quantitative analysis, uncertainty evaluation, reproducibility, transparent documentation, and responsible interpretation. Contemporary digital tools, FAIR data practices, automation, machine learning, and self-driving laboratories expand the possibilities of experimentation but do not replace chemical reasoning or quality assurance. Reliable scientific conclusions arise when research questions, controls, measurements, statistics, data provenance, and claims are coherent with one another. The most productive development of chemistry therefore depends not only on new instruments and algorithms, but also on methodological literacy that allows researchers to use these tools critically, reproducibly, safely, and transparently.

REFERENCES

1. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 10th ed. Hoboken: Wiley, 2019.

2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Reproducibility and Replicability in Science. Washington, DC: The National Academies Press, 2019. DOI: 10.17226/25303.

3. Ellison S. L. R., Williams A. (eds.). Eurachem/CITAC Guide: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 3rd ed. Eurachem, 2012.

4. Cantwell H. (ed.). Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. 3rd ed. Eurachem, 2025.

5. Ciriminna R., Angellotti G., Li Petri G., Pagliaro M. Reproducibility in chemistry research. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 14. e33658. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33658.

6. Bergman R. G., Danheiser R. L. Reproducibility in Chemical Research. *Angewandte Chemie International Edition*. 2016. Vol. 55, No. 41. P. 12548–12549. DOI: 10.1002/anie.201606591.

7. Yano J., Gaffney K. J., Gregoire J. et al. The case for data science in experimental chemistry: examples and recommendations. *Nature Reviews Chemistry*. 2022. Vol. 6. P. 357–370. DOI: 10.1038/s41570-022-00382-w.

8. Tom G., Schmid S. P., Baird S. G. et al. Self-Driving Laboratories for Chemistry and Materials Science. *Chemical Reviews*. 2024. Vol. 124, No. 16. P. 9633–9732. DOI: 10.1021/acs.chemrev.4c00055.

9. Volk A. A., Abolhasani M. Performance metrics to unleash the power of self-driving labs in chemistry and materials science. *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Art. 1378. DOI: 10.1038/s41467-024-45569-5.

10. Lo S., Baird S. G., Schrier J. et al. Review of low-cost self-driving laboratories in chemistry and materials science: the "frugal twin" concept. *Digital Discovery*. 2024. Vol. 3. P. 842–868. DOI: 10.1039/D3DD00223C.

11. Wilkinson M. D., Dumontier M., Aalbersberg I. J. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*. 2016. Vol. 3. Art. 160018. DOI: 10.1038/sdata.2016.18.

12. Hung L., Yager J. A., Monteverde D. et al. Autonomous laboratories for accelerated materials discovery: a community survey and practical insights. *Digital Discovery*. 2024. DOI: 10.1039/D4DD00059E.

13. Barwick V. (ed.). Planning and Reporting Method Validation Studies – Supplement to Eurachem Guide on the Fitness for Purpose of Analytical Methods. 2nd ed. Eurachem, 2025.

5.3. Some Features of the Operation of Analog-Digital Converters (ADC) in the Composition Digital Mass Meters (GMM)

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (АЦП) У СКЛАДІ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ МАСИ (ЦВМ)

На вході АЦП, що працює у складі ЦВМ, крім адитивних перешкод, зумовлених шумами та наведеннями, діють мультиплікативні перешкоди, відомі у літературі під назвою динамічних.

Природа цих перешкод зрозуміла з епюр, наведених на рис. 1. При зважуванні незмінної маси P_0 неминучі вібрації (особливо при зважуванні об'єктів, що рухаються) породжують мінливість у часі зусилля $P(t)$, прикладеного до тензодатчиків. Відхилення $P(t)$ по відношенню до істинного значення P_0 носять адитивний характер.

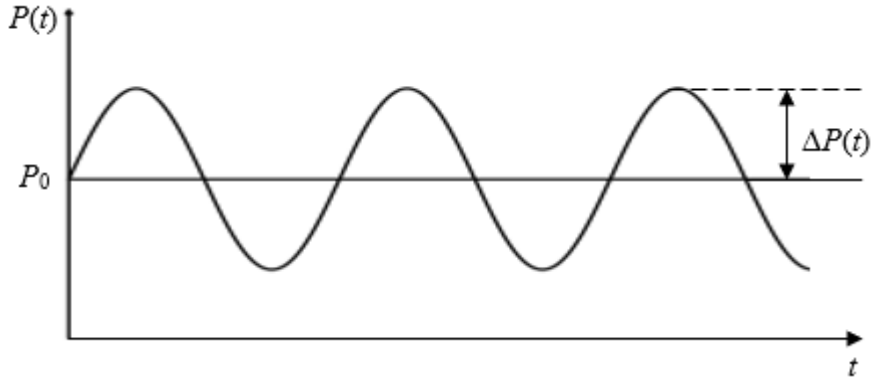


Рис. 1. Амплітудна модуляція тензосигналу перешкодою

Однак при неминучому живленні тензодатчиків змінним струмом їх вихідний сигнал набуває амплітудної модуляції.

$$U_x(t) = [U_0 + U_n(t)]\cos(\Omega t + \psi_0), \quad (1)$$

де Ω і Ψ_0 – частота та фаза несучої, обумовлені напругою живлення тензодатчиків.

При цьому, як видно з (1), напруга перешкоди $U_n(t)$ приховано в огинаючій, тобто має мультиплікативний характер, через що придушення перешкод $U_n(t)$ вкрай утруднене.

Ця проблема посилюється ще й специфікою роботи АЦП у складі ЦВМ. Якщо завдання АЦП РЕА зв'язку входить виділення огинаючої і придушення

несучої, то у ЦВМ завдання зворотне, тобто АЦП повинен прецизійно виділити копію E несучою U_0 і придушити обгинальну. Тому методи фільтрації для РЕА зв'язку тут непридатні.

Дійсно, частота Ω напруги живлення ТД може вибиратися досить високою і тому легко відфільтровується після детектування.

Що ж до перешкоди $U_n(t)$, то її характеристики від розробника АЦП не залежать, частота ω_n напруги перешкоди досить низька і становить одиниці, а в кращому випадку десятки герц, але частотний діапазон при цьому простягається на багато октав. До того ж, детектування вносить велику похибку.

Якщо до того ж зважити на малий час спостереження тензосигналу $U_x(t)$, при якому кут виміру не перевищує одиниць π, стає очевидною неможливість застосування традиційних аналогових фільтрів.

Таким чином, придушення перешкод в АЦП ЦВМ є специфічним і вимагає розробки спеціальних методів.

Для дослідження оцінимо очікувану похибку, викликану дією перешкод. При цьому вважатимемо, що похибка проявляється у помилковому прийомі двох суміжних дискретних градацій U_x. Тоді завдання зводиться до знаходження ймовірності помилки, що визначається наступним співвідношенням:

$$P = \frac{1}{2}[1 - \Phi(\gamma h)], \tag{2}$$

де $\Phi(\gamma h)$ – функція Крампа.

$$\Phi(\gamma h)] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\gamma h} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \tag{3}$$

де $h^2 = \frac{P_c}{P_n} F t_x$; P_c – середня потужність сигналу на вході АЦП; P_n – середня потужність перешкоди на вході АЦП; F – ширина діапазону сигналу; t_x – час спостереження сигналу.

Для типових значень $t_x = 1$ с; $F = 3$ Гц і $\frac{P_c}{P_n} = 3$ отримаємо $h^2 = 9$ і, відповідно, $P = 10^{-2}$.

Інакше кажучи, при впливі динамічних перешкод з 30% амплітудою очікувана похибка дорівнює 1%, тобто очікуваний коефіцієнт придушення динамічних перешкод становить приблизно 30 дБ.

З цією величиною і порівнюватимемо результати відомих і проведених досліджень.

Розглянемо існуючі методи придушення перешкод, які у АЦП під час створення ЦВМ.

Одним із найпростіших у реалізації є метод прямого цифрового інтегрування, який полягає в тому, що за час t_x сигнал вимірюється багаторазово, окремі результати підсумовуються, і отримана сума поділяється на кількість вимірів.

Визначимо максимальну похибку виміру під час використання даного методу, з наступних міркувань. Нехай вхідний сигнал, уражений гармонійною перешкодою, після детектування має вигляд $U_x(t) = E + U_n \sin(\omega t + \varphi_0)$. Внаслідок інтегрування вихідного сигналу фаза перешкоди змінюється від величини φ_0 до $\varphi_0 + \varphi_x$ і значення шуканого сигналу знаходимо з виразу:

$$U_x(t) = E + \frac{U_n}{\varphi_x} \int_{\varphi_0}^{\varphi_0+\varphi_x} \sin \varphi d\varphi, \ \varphi_x = \omega t_x . \quad (4)$$

Оскільки другий доданок рівності (4) однозначно визначає похибку, викликану динамічною перешкодою, то її оцінки проаналізуємо лише його. В результаті інтегрування та тригонометричних перетворень отримуємо:

$$\delta = \frac{2U_n}{\varphi_x} \sin\left(\varphi_0 + \frac{\varphi_x}{2}\right) \sin\frac{\varphi_x}{2}, \quad (5)$$

де δ – похибка вимірювань.

З співвідношення (5) видно, що в залежності від фази φ_0 динамічної перешкоди похибка може приймати будь-які значення в межах від нуля до δ_{max}, яке визначається при $\sin\left(\varphi_0 + \frac{\varphi_x}{2}\right) = 1$ як:

$$\delta_{max} = \frac{2U_n}{\varphi_x} \sin\frac{\varphi_x}{2} . \quad (6)$$

Оскільки $-1 \le \sin\frac{\varphi_x}{2} \le 1$, то похибка δ_{max} тим менше, що більше φ_x, тобто, чим більший час вимірювання t_x.

Для АЦП, використовують описаний метод придушення динамічних перешкод, у літературі зустрічаються такі дані про похибки виміру. Наприклад, у роботах вчених університету «Одеська політехніка» зазначено, що при часі вимірювання t_x = 1 с та частоті перешкоди f = 3 Гц похибка ЦВМ приймається рівною 1%. При цьому, на жаль, взагалі не наведено величину співвідношення сигнал/шум на вході вимірювального приладу. Розрахунки, наведені експериментально для оцінки похибки АЦП при t_x = 1,2 с та частоті динамічної перешкоди 3 Гц при співвідношенні P_c / P_n = 3, дали значно кращі результати. Тут похибка виміру сягає ±6 %.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що розглянутий метод придушення динамічних перешкод слід застосовувати тільки у випадках дії високочастотних перешкод або при великому часі спостереження сигналу, ураженим низькочастотними перешкодами.

Для розробки швидкодіючих, завадостійких АЦП ЦВМ цей метод є неприйнятним.

У деяких технологіях розглянуті випадки застосування прямих інтеграторів у поєднанні з електричними фільтрами. Однак при цьому для забезпечення коефіцієнта придушення перешкод рівного 100 потрібно збільшити час вимірювання до 3 с та вище. Для швидкодіючих ЦВМ це неприпустимо.

Найбільш широко використовується метод придушення перешкод шляхом множення вимірюваного сигналу на так звану вагову функцію з подальшим інтегруванням добутку, який отримав назву вагового інтегрування.

Вагові функції прийнято називати часовими вікнами. Наведемо основні параметри, якими ці вікна можуть характеризуватись. Для ідеального усереднюючого фільтра, яким у нашому випадку повинен бути АЦП, необхідно мати вузьку смугу пропускання; відповідно до цього реальне вікно може бути охарактеризовано шириною основної пелюстки спектру: чим менше ця ширина, тим краще вікно. Ширина бічних пелюстків АЧХ ідеального фільтра повинна дорівнювати нулю. Реальне усереднє вікно характеризується рівнем бічних пелюсток h_L: ставленням амплітуди найбільшої бічної пелюстки до амплітуди основного.

В даний час відомо велике число вікон, що усереднюють, запропонованих у різний час різними авторами. Наведемо параметри деяких вікон, що часто вживаються, в табл. 1.

У табл. 1 поряд з рівнем бічних пелюсток h_L зазначені також значення наведеної ширини основної пелюстки за рівнем бічних пелюсток F_h, за рівнем 0,71 (тобто спад АЧХ на 3 дБ) і за рівнем 0,99 (тобто при спад АЧХ на 1 %).

Таблиця 1

Параметри часових вікон

Вид вікна	h_L, дБ	F_h	$F_{0,71}$	$F_{0,99}$
Вікно Діріхле	-13,3	0,82	0,44	0,07
Вікно Барлетта	-26,6	1,63	0,64	0,11
Вікно Хенна	-31,5	1,88	0,71	0,12
Вікно Хеммінга	-42,7	1,92	0,65	0,11
Вікно Блекмана	-58,2	2,83	0,82	0,14
Вікно Ріса	-21,3	1,28	0,58	0,10
Вікно Коші	-30,8	3,25	0,67	0,11
Вікно Рімана	-26,5	1,51	0,62	0,10
Вікно Гауса	-55,9	3,34	0,80	0,13

Найпростішою ваговою функцією вікна є прямокутна однорівнева функція, що зветься вікна Діріхле, представлена на рис. 2. Вона описується наступним співвідношенням:

$$F_B(t) = \begin{cases} 1, & |t| \le \dfrac{T}{2}; \\ 0, & |t| > \dfrac{T}{2}. \end{cases} \qquad (7)$$

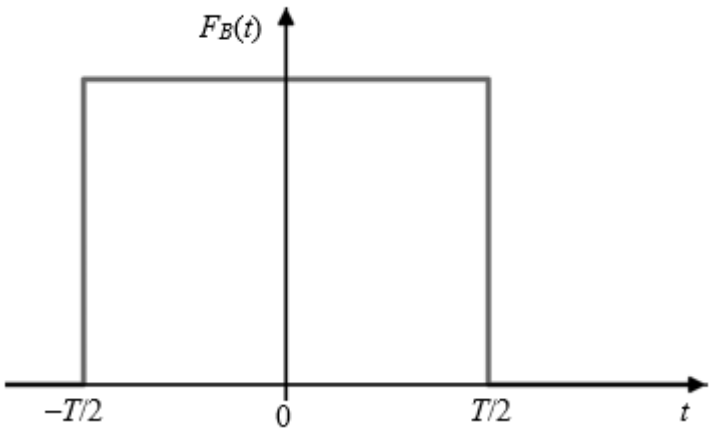


Рис. 2. Вікно Діріхле

Амплітудно-частотна характеристика вікна Діріхле визначається формулою:

$$F_B(j\omega) = \frac{\sin\left(\omega \cdot \frac{T}{2}\right)}{\omega \cdot \frac{T}{2}}. \tag{8}$$

Вікно Барлетта або трикутне вікно представлене на рис. 3 – це згортка двох прямокутників половинної тривалості

$$F_B(t) = \begin{cases} 1 - \frac{|t|}{T/2}, & |t| \le \frac{T}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}. \end{cases} \tag{9}$$

АЧХ, що відповідає цьому вікну, виходить як квадрат спектра прямокутника тривалістю:

$$F_B(j\omega) = \left[\frac{\sin\left(\omega \cdot \frac{T}{4}\right)}{\omega \cdot \frac{T}{4}} \right]^2. \tag{10}$$

З даних табл. 1 видно, що перехід від вікна Діріхле до вікна Барлетта супроводжується зниженням рівня бічних пелюсток, але разом з тим збільшується ширина основної пелюстки.

Вікно Хенна і вікно Хеммінга – це один період косінусоїди, піднятої на величину амплітуди:

$$F_B(t) = \begin{cases} \alpha + (1+\alpha)\cos\frac{2\pi t}{T}, & |t| \le \frac{T}{2}; \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}. \end{cases} \tag{11}$$

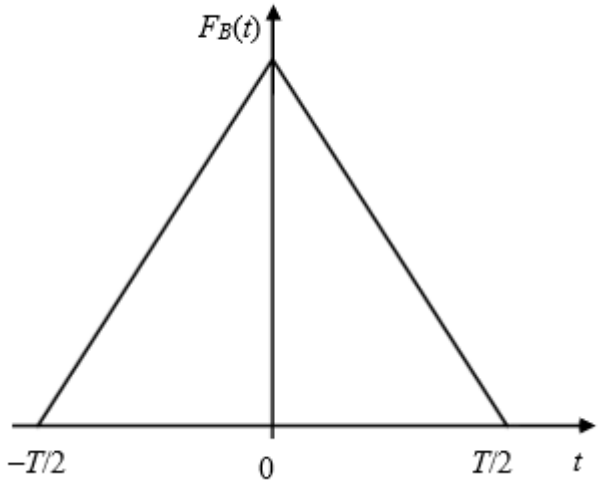


Рис. 3. Вікно Барлетта

Відрізняються вони лише значенням параметра: для вікна Хенна α = 0,5; а для вікна Хеммінга α = 0,54. Вигляд такої функції представлено на рис. 4.

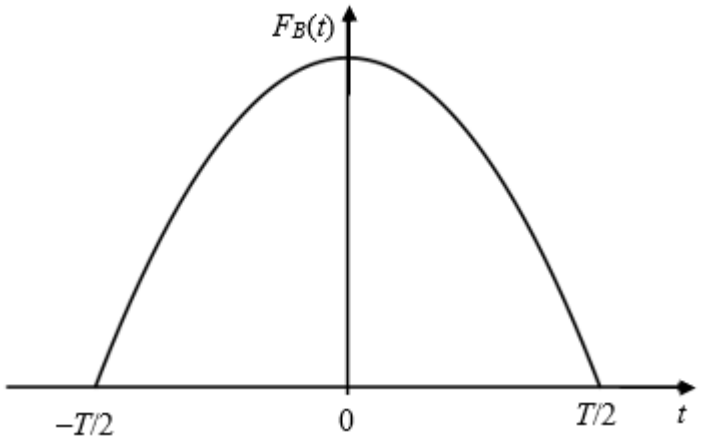


Рис. 4. Вікно Хеммінга

$$F_B(j\omega) = \frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2}\left[1 + \frac{0{,}46}{0{,}54}\frac{(ft)^2}{1-(fT)^2}\right]. \quad (12)$$

Майже вся енергія цієї функції, саме 99,96 %, зосереджена смузі $|\omega| \le 2\pi/T$. Деякі вчені вважають, що в АЦП для вимірювання сигналів тензодатчиків оптимальним є застосування як вагова функція вікна Хеммінга.

Поряд із наведеними відомі такі вікна, як вікна Ріса, Коші, Рімана, Гауса. Перевагами цих вікон є простота їхнього математичного опису і, як наслідок, у деяких випадках – простота реалізації. Однак ці вікна не вважаються оптимальними в теорії цифрових фільтрів. Оптимальне вікно було запропоновано Кайзером і називається вікном Кайзера-Бесселя. Це вікно описується співвідношенням:

$$F_B(t) = \frac{J_0[\omega_\alpha \sqrt{1-(2t/T)^2}]}{J_0(\omega_\alpha T/2)}; \qquad |t| \le \frac{T}{2}, \tag{13}$$

де $J_0(x)$ – модифікована функція Бесселя першого роду нульового порядку; ω_α – константа, що визначає компроміс між максимальним рівнем бічних пелюсток та шириною основної пелюстки.

Оптимальність вікна Кайзера полягає в тому, що воно забезпечує мінімум енергії спектра за межами центральної пелюстки.

Модифікована функція Бесселя J_0 може бути знайдена за допомогою ряду:

$$J_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{(x/2)^k}{k!} \right]^2. \tag{14}$$

АЧХ такого вікна описується виразом:

$$F_B(j\omega) = \frac{2}{J_0\left(\omega_\alpha \frac{T}{2}\right)} \frac{\sin\left[\frac{T}{2}\sqrt{\omega^2 - \omega_\alpha^2}\right]}{\sqrt{\omega^2 - \omega_\alpha^2}}. \tag{15}$$

Змінюючи $\omega_\alpha \frac{T}{2}$ можна змінювати енергію в центральній пелюстці та амплітуди бічних пелюсток. Наприклад, при $\omega_\alpha \frac{T}{2} = \pi\sqrt{3}$ поза головною пелюстки вікна Кайзера знаходиться лише 0,012% його енергії, тоді як поза головною пелюсток вікна Хеммінга знаходиться 0,037% його енергії.

Таким чином, з усіх розглянутих вікон, представлених безперервними функціями часу найбільш оптимальним можна вважати вікно Кайзера.

Як приклад дискретної вагової функції слід навести функцію Дольфа-Чебишева, АЧХ якої описується формулою виду:

$$F_B(j\omega) = hT_{N-1}[Z_0 \cos(\pi f T_2)], \tag{16}$$

де $T_{N-1}(Z_0)$ – поліном Чебишева першого роду (N – 1)-го порядку, який визначається як:

$$T_{N-1}(Z) = \begin{cases} \cos[(N-1)\arccos Z], & |Z| \le 1; \\ \mathrm{ch}[(N-1)\mathrm{arch}\,|Z|], & |Z| \ge 1. \end{cases} \tag{17}$$

На рис. 5 показаний вид вагової функції Дольфа-Чебишева.

Вхідний (16) параметр Z_0 визначається, виходячи із заданого рівня бічних пелюсток h:

$$Z_0 = \mathrm{ch}\left(\frac{1}{N-1}\mathrm{arch}\frac{1}{h}\right). \tag{18}$$

Ця вагова функція має дискретний характер (N «штук» δ-імпульсів).

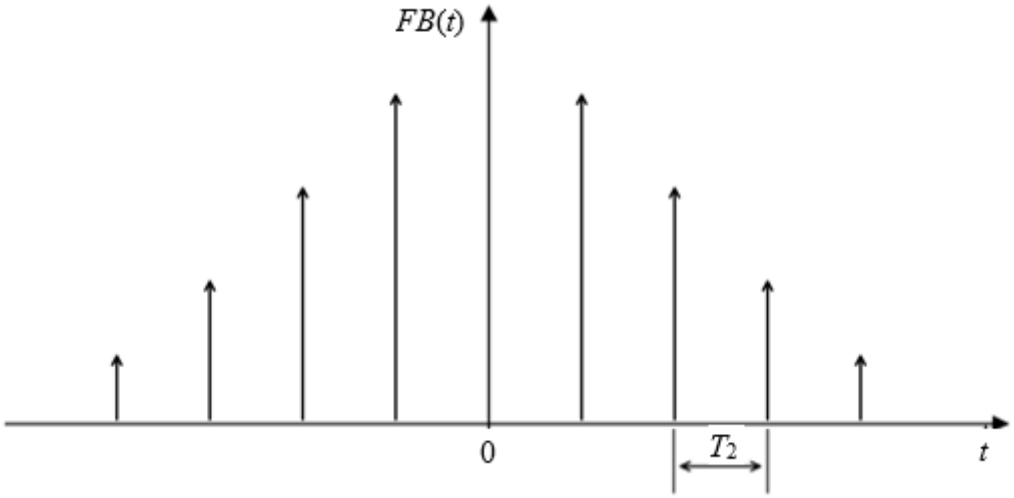


Рис. 5. Вагова функція Дольфа-Чебишева

Вагова функція Дольфа-Чебишева за однакового значення має меншу (приблизно на 9...14 %) ширину основної пелюстки, ніж функція Кайзера. Це означає, що при однаковій нижній межі смуги пригнічених перешкод ВФ Дольфа-Чебишева матиме меншу тривалість, ніж ВФ Кайзера.

Розглянемо можливість застосування наведених вікон в АЦП для вимірювання тензосигналів.

Відомі три способи вагового інтегрування:

1) аналогове інтегрування результату перемноження сигналу $x(t)$ на вагову функцію $F_B(t)$;

2) аналогове інтегрування результату перетворення сигналу в масштабному перетворювачі, коефіцієнт перетворення якого $K_{МП}(t)$ є ваговою функцією часу. Вишенчук Н.В. назвав цей спосіб неявним множенням;

3) цифрове інтегрування результату множення значень ординат сигналу значення ординат гратчастої вагової функції.

Розглянемо можливості кожного із трьох способів.

Аналогове інтегрування результату перемноження $[x(t)\cdot F_B(t)]$ за першим способом не може дати високих точнісних характеристик через відсутність високочастотних та широкосмугових множників сигналу. Незважаючи на те, що навіть складну вагову функцію $F(t)$ можна відтворити з достатньою точністю, помножити її з високою точністю в широкому діапазоні на вхідний сигнал складно.

Нами було проведено аналіз максимального значення абсолютної похибки під час використання вікна Хеммінга в АЦП з аналоговим інтегруванням. Розрахунки показали, що при частоті перешкоди 3 Гц і часу спостереження сигналу 1 с коефіцієнт придушення перешкод дорівнює 88. Однак на практиці через зазначені вище недоліки розрахункові дані не підтверджуються, тому цей метод не знайшов широкого використання в АЦП для створення високоточних ЦВМ.

Значно простіше відповідно до другого способу створити високоточний масштабний перетворювач з $К_{МП}(t) = F_B(t)$. Цей спосіб широко застосовується для найпростіших однорівневих прямокутних $F(t)$, а також для гребінчастих вагових функцій, оскільки в даному випадку масштабний перетворювач являє собою дільник напруги з одним або двома ключами.

Мінімальний коефіцієнт придушення перешкод у разі використання однорівневої функції вікна Діріхле в даному випадку визначається із співвідношення:

$$K_{\text{Пmin}} = 20\log\frac{\pi T / T_{\text{п}}}{\sin(\pi T / T_{\text{п}})}, \qquad (19)$$

де T – час інтегрування; $T_{\text{п}}$ – період перешкоди.

З наведеного виразу видно, що коефіцієнт придушення перешкод залежить від співвідношення T / $T_{\text{п}}$.

Застосування гребінчастих однорівневих вагових функцій трохи покращує результат у порівнянні з вікном Діріхле.

Так, наприклад, випробування макета АЦП із застосуванням гребінчастої вагової функції, що складається з 10 пелюсток, навіть при підстроюванні періоду інтегрування зміною частоти перешкоди показали, що максимальний коефіцієнт придушення перешкод $K_{\text{п}}$ = (62...68) дБ. При відході частоти перешкоди лише на 2% без підстроювання періоду інтегрування коефіцієнт придушення перешкод знижується до 55 дБ.

Наведений приклад свідчить, що застосування розглянутого методу придушення динамічних перешкод при ширині спектра останнього від 0,5 до 3 Гц не забезпечить високий рівень придушення перешкод.

Застосування гребінчастих однорівневих вагових функцій пов'язане з додатковим недоліком, який полягає в тому, що при цьому висуваються високі вимоги до похибки резисторів дільників. Приміром, за зміни рівня на 2 % зміна показань приладу за наявності перешкоди теж становитиме 2 %, тобто коефіцієнт придушення перешкод знижується до одиниці.

Тому другий розглянутий спосіб вагового інтегрування можна застосовувати при створенні АЦП, що працюють в умовах відсутності динамічних перешкод або за наявності останніх не пред'являти до вимірювальних систем високих вимог до коефіцієнта придушення перешкод.

Розглянемо третій спосіб – цифрове вагове інтегрування, яке передбачає множення дискретних відліків вихідного сигналу на дискретні вагові коефіцієнти реалізованої ВФ з подальшим їх інтегруванням. Крім розглянутої дискретної ВФ Дольфа-Чебишева, всі згадані вище вікна – безперервні функції часу. Однак перехід до дискретного або ступінчастого аналога вагової функції мало впливає на їх параметри АЧХ, наведені в табл. 1.

Дискретний чи імпульсний аналог матиме АЧХ, у якій смуга загородження тягнеться від $f_{\text{п}}$ до $f_2 - f_{\text{п}}$, де f_2 – частота дискретизації. Однак вся складність застосування цього методу полягає в тому, що відсутні рекомендації щодо розрахунку очікуваної похибки.

Нами провели аналіз для дискретно заданої функції вікна Хеммінга.

В результаті проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

– Застосування методу цифрового інтегрування за допомогою ступінчастої вагової функції типу вікна Хеммінга дозволяє підвищити коефіцієнт придушення перешкод порівняно з простим інтегруванням лише в невеликому діапазоні динамічних частот перешкод (від 3 до 6 Гц).

– При широкому спектрі частоти перешкоди (від десятих часток Гц до 10 Гц) спостерігається зниження коефіцієнта придушення перешкод у порівнянні з методом простого інтегрування.

– Знаходження конкретної кількості вибірок на даній частоті відліків при використанні ступінчастих вагових функцій наводиться лише чисельними методами. За будь-якої кількості розрахунків для реалізації ступенів ВФ не можна бути впевненим, що був розглянутий у загальній кількості та оптимальний варіант.

Що ж до дискретно заданої вагової функції Дольфа-Чебишева, то рекомендації щодо розрахунку очікуваної похибки знайдено, де коефіцієнт придушення перешкод перебуває за формулою:

$$k = 20\left[(1-N)\lg\frac{\pi f_{\text{сер}}}{2} + (N-2)\lg 2\right], \qquad (20)$$

де $f_{\text{сер}}$ – середня частота смуги загородження.

Проведені експерименти та наводяться дані експериментально певної похибки для АЦП, де як вагова функція використовується вікно Дольфа-Чебишева. У разі часу вимірювання, що дорівнює 1 с, і при ширині спектра частот динамічної перешкоди від 3 до 10 Гц з амплітудою перешкоди до 20 % використання запропонованого алгоритму дозволив отримати похибку не більше ±1% стосовно поосного зважування об'єктів, що рухаються. У кранових вимірниках наведена похибка вимірювання не перевищувала ±0,8%, тобто коефіцієнт придушення перешкод становив 20 % і від очікуваного.

Такі низькі результати забезпечення точності АЦП із застосуванням методу вагового інтегрування зрозумілі тим, що вимоги до вибору форми ВФ можуть бути сформульовані, виходячи з характеру спектра перешкоди, середнє значення якого для вибору оптимальної форми $F_{\text{В}}(t)$ необхідно визначити. Причому, нині існують лише експериментальні методи оцінок необхідних параметрів динамічних перешкод, або ці параметри задаються приблизними виходячи з результатів, отриманих аналогічних об'єктах. Такий підхід, безперечно, не може дозволити здійснити вибір оптимальної вагової функції.

Іншим істотним недоліком є залежність коефіцієнта придушення динамічних перешкод від ширини останньої спектру. Причому навіть незначна зміна частоти перешкоди призводить до того, що коефіцієнт $K_{\text{п}}$ може зменшитися в порівнянні з методом простого інтегрування.

Позбавленою зазначених недоліків можна вважати вагову функцію, що перебудовується, що визначається наступним співвідношенням:

$$K(n) = \frac{\left\{\exp\left[-A\left(\frac{2n-1}{N}\right)^2\right] - \exp(-A)\right\}}{\left[1-\exp(-1)\right]}, \quad (21)$$

де A – змінний коефіцієнт; n – порядковий номер дискретного відліку; N – загальна кількість відліків за час t.

Причому значення коефіцієнта A розраховуються і будується графік залежності

$A = \psi(f_м, t_x)$, де $f_м$ – мінімальна частота перешкоди.

З проведеного огляду видно, що вагові функції, що застосовуються для одних умов, на практиці у складі АЦП не тільки не зменшують, а й збільшують похибку при застосуванні цих же вагових функцій на інших об'єктах.

Такий метод дає позитивні результати в діапазоні динамічних дій перешкод від 3 Гц і вище. Що стосується нижчих частот динамічних перешкод, цей метод застосовувати не бажано.

Список використаних джерел

1. IEEE Std 1241-2010. IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters. IEEE, 2011. 46 p.

2. Harris F. J. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform. *Proceedings of the IEEE.* 1978. Vol. 66, No. 1. P. 51–83.

3. Prabhu K. M. M. Window Functions and Their Applications in Signal Processing. CRC Press, 2018.

4. High-Precision ADC Spectrum Testing under Non-Coherent Sampling Conditions. *Sensors*. 2022.

5. Білоцерківець О. Г., Мальцев О. С. Вплив параметрів АЦП на характеристики радіоприймача на базі DSP. *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті.* Харків : ХНУРЕ, 2019. Т. 3. С. 182–183.

6. Феч О. О., Осіпов Р. С., Козяр В. В. Програмно-апаратний комплекс для оцінки характеристик кровотоку. *Біомедична інженерія і технологія*. 2020. № 4. С. 98–104.

5.4. Improving the Scientific and Methodological Foundations for Ensuring the Environmental Safety of Natural-Technogenic Systems Based on Parametric and Engineering-Technological Approaches

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ЗАСАД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРИЧНОГО ТА ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДХОДІВ

Вступ. Сучасні природно-техногенні системи функціонують в умовах одночасної дії природних, антропогенних, техногенних, кліматичних і воєнних чинників. Зміни клімату, деградація земель і водних ресурсів, трансформація ландшафтів, техногенне навантаження, природні пожежі, аварійні ситуації та

воєнні дії можуть формувати взаємопов'язані ланцюги впливів, за яких порушення одного компонента системи спричиняє зміни інших. Унаслідок цього екологічна небезпека визначається не лише інтенсивністю окремої загрози, а й особливостями території, станом її природних і техногенних компонентів та характером їх взаємодії.

Такі умови зумовлюють необхідність розвитку підходів до оцінювання та забезпечення екологічної безпеки. Окремий контроль показників стану довкілля або реагування на вже сформовані негативні наслідки не завжди дають змогу своєчасно виявити формування ризику. Тому важливим є системне врахування загроз, експозиції, вразливості та функціонального стану природно-техногенної системи. Сучасні дослідження екологічної безпеки також демонструють перехід від ізольованого аналізу окремих показників до використання комплексних, просторових і причинно-орієнтованих підходів [1].

Одним із теоретичних напрямів розвитку такого підходу є концепція резильєнтності, яка акцентує здатність систем зберігати основні функції за умов зовнішніх збурень та адаптуватися до змін. Її сучасне трактування сформувалося на основі праці C. S. Holling [2] і надалі було розширене через розмежування резильєнтності, адаптивності та трансформативності соціо-екологічних систем [3]. Для оцінювання екологічної безпеки ця концепція є доповнювальною, оскільки дозволяє враховувати не лише поточний стан системи, а й характер її реагування на порушення.

Водночас особливого значення набуває технологічний аспект екологічної безпеки. Для природно-техногенних систем екологічні наслідки значною мірою визначаються параметрами технологічних процесів, технічним станом об'єктів та характером їх взаємодії з природним середовищем. Тому екологічні критерії доцільно враховувати не лише під час оцінювання наслідків господарської діяльності, а й на етапі обґрунтування технологічних та інженерних рішень. Це створює передумови для поєднання параметричного оцінювання екологічного ризику з інженерно-технологічними способами його зниження.

Метою дослідження є удосконалення науково-методичних засад забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем на основі параметричного оцінювання та інженерно-технологічного обґрунтування рішень. Для досягнення мети передбачено узагальнити теоретичні засади екологічної безпеки та сучасні загрози функціонуванню природно-техногенних систем; обґрунтувати параметричний підхід до оцінювання їх стану та екологічного ризику; визначити напрями вибору управлінських, природоорієнтованих та інженерно-технологічних рішень; розробити концептуально-параметричну модель їх обґрунтування та оцінювання результативності.

Актуальність дослідження визначається необхідністю переходу від переважно реактивного реагування на екологічні порушення до системного та превентивного управління, у межах якого результати оцінювання безпосередньо пов'язуються з вибором способів зниження ризику. Поєднання параметричного та

інженерно-технологічного підходів створює методичну основу для визначення критичних характеристик природно-техногенних систем і обґрунтування рішень, спрямованих на збереження їх основних функцій та зниження негативного впливу небезпечних чинників.

1. Теоретичні засади екологічної безпеки природно-техногенних систем

Екологічна безпека є комплексною категорією, що характеризує умови функціонування природних, природно-техногенних та соціально-економічних систем за наявності потенційно небезпечних природних і антропогенних впливів. Аналіз сучасних досліджень свідчить про відсутність єдиного універсального підходу до її визначення та оцінювання. Водночас простежується перехід від аналізу окремих екологічних показників до комплексного врахування стану території, чинників його формування, просторової диференціації та екологічних ризиків [1].

У межах цього дослідження природно-техногенну систему доцільно розглядати як територіально визначену сукупність природних компонентів і техногенних об’єктів, між якими сформувалися функціональні та просторові взаємозв’язки. До її складових належать земельні та водні ресурси, ґрунтовий і рослинний покрив, біота, атмосферне середовище, а також промислові, транспортні, енергетичні, гідротехнічні та інші техногенні об’єкти. Така структура зумовлює взаємозалежність компонентів: зміна одного з них може спричиняти вторинні зміни інших і, відповідно, впливати на функціональний стан системи в цілому.

Системний характер природно-техногенних систем визначає необхідність розглядати екологічну безпеку не лише як відповідність окремих показників установленим нормативам, а як характеристику умов функціонування системи за певного рівня небезпечних впливів. Для її оцінювання необхідно враховувати просторово-часову неоднорідність процесів, взаємозв’язки між компонентами та можливість накопичення або взаємного посилення негативних ефектів. Саме складність і неоднорідність природних систем є однією з причин, чому універсальний набір показників або заходів забезпечення екологічної безпеки не може бути однаково ефективним для різних територій [1].

Методологічно важливим є розмежування понять загрози, вразливості та екологічного ризику. Загроза характеризує потенційно небезпечний природний, антропогенний або техногенний чинник; вразливість відображає чутливість системи до його впливу та умови, що визначають масштаб можливих порушень; ризик пов’язує небезпечний вплив із імовірністю його реалізації та потенційними наслідками. Отже, однакова за інтенсивністю загроза може спричиняти різні наслідки залежно від стану природних компонентів, просторової структури території, рівня експозиції та характеристик техногенних об’єктів.

У цьому контексті доцільно враховувати і здатність системи зберігати або відновлювати основні функції після зовнішнього впливу. Концепція резильєнтності, започаткована в екологічних дослідженнях C. S. Holling, акцентує не стільки незмінність системи, скільки характер її реагування на збурення та

здатність функціонувати за умов змін [2]. Подальший розвиток цього підходу пов'язує резильєнтність з адаптивністю та можливістю трансформації системи за зміни умов її функціонування [3]. У межах цього дослідження зазначений підхід використовується як доповнення до категорій стану, вразливості та ризику, а не як їх заміна.

Таким чином, теоретичною основою подальшого оцінювання є розгляд природно-техногенної системи як взаємопов'язаного утворення, для якого екологічна безпека визначається співвідношенням характеристик загроз, стану, експозиції, вразливості та функціональних можливостей системи. Така постановка створює основу для переходу до параметричного оцінювання, за якого загальні категорії екологічної безпеки конкретизуються через систему вимірюваних показників, критичних параметрів і просторово-часових характеристик.

Для природно-техногенних систем принципове значення має просторово-часовий характер екологічних процесів. Один і той самий за походженням вплив може спричиняти різні наслідки залежно від природних умов території, структури землекористування, техногенного навантаження та стану окремих компонентів. Поєднання декількох чинників також може зумовлювати накопичення або взаємне посилення негативних ефектів. Тому оцінювання екологічної безпеки потребує врахування просторових і часових особливостей системи та характеристик її вразливості.

Структурно-функціональна взаємодія основних компонентів природно-техногенної системи та місце екологічної безпеки в цій системі наведені на рис. 1.1.

У такому розумінні екологічна безпека природно-техногенної системи може бути представлена як інтегральна динамічна характеристика, що визначається рівнем небезпечних впливів, вразливістю системи, величиною потенційних екологічних ризиків та її здатністю зберігати основні функції за умов порушень. Це дає змогу перейти від фіксації окремих негативних змін до встановлення зв'язку між характеристиками загрози, станом системи та можливими наслідками її реалізації.

Відповідно, забезпечення екологічної безпеки передбачає виявлення та характеристику загроз, оцінювання вразливості системи, визначення рівня екологічного ризику та обґрунтування заходів щодо його зниження. Стійкість, здатність до адаптації та відновлення при цьому враховуються як характеристики, що визначають можливості системи протидіяти небезпечним впливам і зберігати основні функції.

Таким чином, теоретичну основу дослідження становить поєднання системного та ризик-орієнтованого підходів із положеннями просторового аналізу та оцінювання вразливості природно-техногенних систем. Це створює методологічне підґрунтя для систематизації сучасних загроз, визначення критичних параметрів функціонального стану систем та подальшого обґрунтування заходів щодо зниження екологічних ризиків.

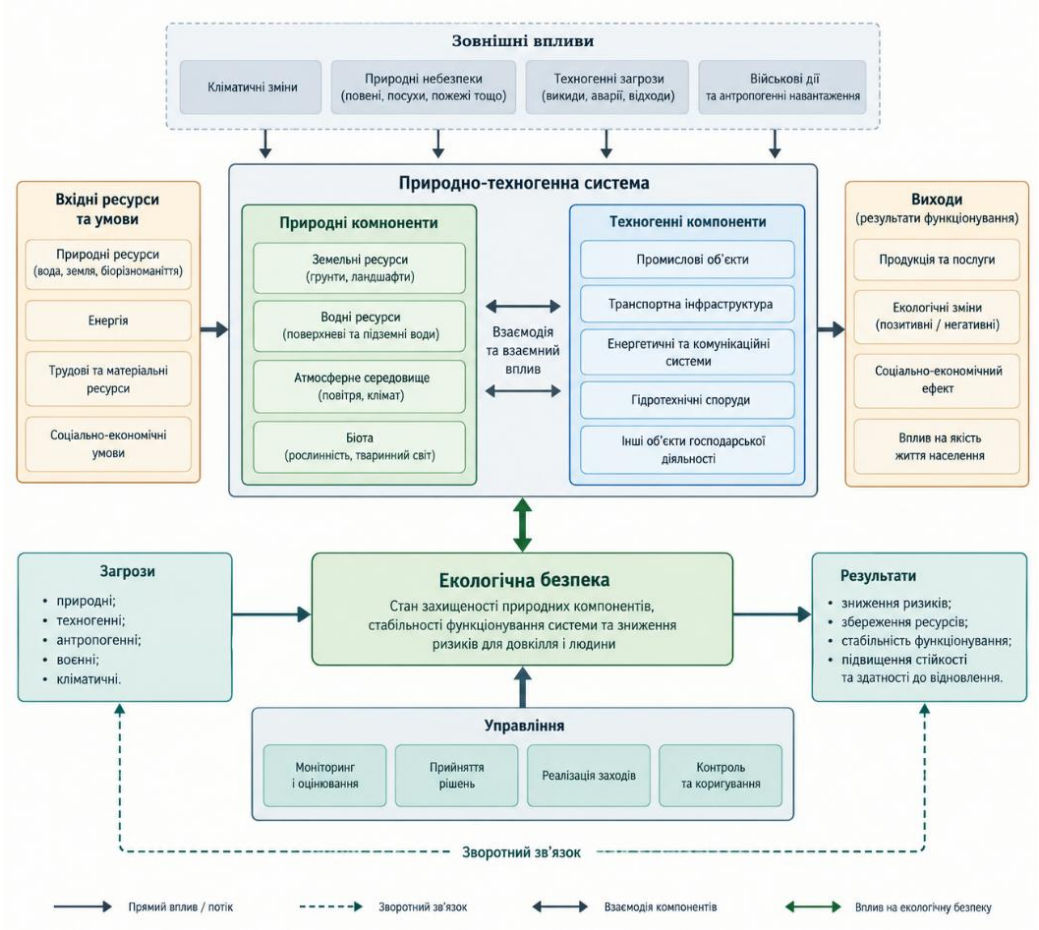


Рис. 1.1 Структурно-функціональна схема природно-техногенної системи в контексті забезпечення екологічної безпеки

(розроблено авторами; графічна візуалізація виконана з використанням інструментів ШІ)

Таким чином, теоретичну основу дослідження становить поєднання системного та ризик-орієнтованого підходів із положеннями просторового аналізу та оцінювання вразливості природно-техногенних систем. Це створює методологічне підґрунтя для систематизації сучасних загроз, визначення критичних параметрів функціонального стану систем та подальшого обґрунтування заходів щодо зниження екологічних ризиків.

Для сучасних природно-техногенних систем характерним є не стільки поява принципово нових джерел небезпеки, скільки зміна масштабу, тривалості та характеру взаємодії вже існуючих загроз. Кліматичні зміни, деградаційні процеси, техногенне навантаження, трансформація землекористування та порушення природних екосистем можуть діяти одночасно, створюючи умови для взаємного посилення негативних ефектів. За таких обставин наслідки впливу визначаються вже не окремою характеристикою небезпечного чинника, а сукупністю його зв'язків із функціонуванням самої системи.

Особливого значення набувають ситуації, коли один несприятливий процес змінює умови виникнення або поширення іншого. Так, тривалий дефіцит опадів і

підвищення температури можуть посилювати пожежну небезпеку, порушення рослинного покриву – активізувати ерозійні процеси та змінювати формування поверхневого стоку, а пошкодження техногенної інфраструктури – спричиняти додаткове навантаження на природні компоненти. Подібні поєднання належать до compound events – комбінованих подій, у яких декілька чинників або процесів спільно формують екологічні наслідки [6]. Їх типологія охоплює, зокрема, багатофакторні, часово та просторово комбіновані події [6].

Для екологічних систем принциповим є те, що результат такої взаємодії залежить від попереднього стану території та її вразливості. Один і той самий за інтенсивністю вплив може мати різні наслідки залежно від стану ґрунтів, водних ресурсів, рослинного покриву, структури землекористування та рівня техногенного навантаження. Саме тому Bastos et al. [7] пропонують розглядати compound ecoclimatic events через взаємозв'язок кліматичних чинників, характеристик середовища, екосистемних порушень та їх наслідків. Такий підхід є особливо важливим для природно-техногенних систем, у яких природні процеси постійно взаємодіють із техногенними об'єктами та господарською діяльністю.

У цьому контексті сучасні загрози доцільно розглядати не лише за їх походженням, а й за механізмом впливу та характером взаємодії. За походженням вони охоплюють природні, кліматичні, техногенні, антропогенні та воєнні чинники, тоді як за характером реалізації можуть бути безпосередніми, кумулятивними, комбінованими або каскадними. Саме таке поєднання двох ознак дає змогу перейти від простого переліку небезпечних чинників до оцінювання їх потенційного впливу на функціонування системи.

Таблиця 1.

Класифікація сучасних загроз екологічній безпеці природно-техногенних систем (сформовано авторами)

Група загроз	Основні прояви	Характер впливу	Потенційні наслідки
Природні	повені, посухи, екстремальні опади, пожежі, зсуви	раптовий або сезонний	порушення ґрунтового і рослинного покриву, зміна водного режиму
Кліматичні	підвищення температури, зміна режиму опадів, екстремальні явища	довготривалий, системний	водний дефіцит, деградація земель, зміна функціонування екосистем
Техногенні	аварії, промислове забруднення, відходи, порушення інфраструктури	локальний або регіональний, кумулятивний	забруднення компонентів довкілля, деградація територій
Антропогенні	інтенсивне землекористування, вирубування, забудова, видобування ресурсів	поступовий, накопичувальний	ерозія, фрагментація ландшафтів, втрата природних функцій
Воєнні	руйнування інфраструктури, пожежі, порушення земель і водних об'єктів, забруднення	комплексний, каскадний	порушення природних процесів, забруднення, деградація екосистем
Комбіновані	одночасна або послідовна дія декількох чинників	синергічний, кумулятивний	зростання вразливості та екологічного ризику

Таким чином, для подальшого аналізу важливо враховувати не тільки що саме створює загрозу, а й у яких умовах вона реалізується, з якими процесами взаємодіє та які зміни може спричинити в інших компонентах системи. Саме ця особливість найбільш виразно проявляється у випадках кліматично зумовлених екстремумів, пожеж, воєнного впливу та порушення критичної інфраструктури.

3. Параметричний підхід до оцінювання екологічної безпеки природно-техногенних систем

Оцінювання екологічної безпеки природно-техногенних систем не може обмежуватися визначенням окремих показників стану довкілля. Для систем, у яких природні процеси взаємодіють із господарською діяльністю та техногенними об'єктами, важливим є встановлення взаємозв'язків між характером загроз, станом системи та параметрами, зміна яких свідчить про формування або посилення екологічного ризику [6]. Такий підхід дає змогу перейти від фіксації окремих негативних явищ до оцінювання функціонального стану системи та визначення параметрів, на які необхідно спрямовувати управлінський або технічний вплив .

Методично оцінювання доцільно будувати на аналізі взаємопов'язаних характеристик природного стану, техногенного навантаження, небезпечних впливів та вразливості системи. При цьому склад показників має визначатися типом досліджуваної природно-техногенної системи, характером загроз і механізмами їх прояву. Для водних, земельних, лісових та урбанізованих систем набір параметрів може істотно відрізнятися, тому застосування єдиного універсального переліку індикаторів не є методично обґрунтованим.

Для характеристики змін у часі доцільно розрізняти показники стану, навантаження та динаміки. Показники стану відображають фактичні властивості природних і техногенних компонентів; показники навантаження характеризують інтенсивність зовнішнього або антропогенного впливу; показники динаміки визначають напрям і швидкість трансформації відповідних характеристик. Їх спільне використання дозволяє встановити, чи перебуває система у відносно стабільному стані, демонструє поступове погіршення або зазнала істотного порушення. Водночас для оцінювання безпеки важливим є не лише виявлення негативної зміни, а й встановлення її зв'язку з конкретною загрозою та можливими наслідками для функціонування системи.

Важливою складовою оцінювання територіальних природно-техногенних систем є просторова інформація. Геодезичні, дистанційні та геоінформаційні технології розширюють можливості виявлення просторово-часових змін, визначення зон потенційного впливу та диференціації територій за рівнем вразливості. Для земельних ресурсів така інтеграція може спиратися на кадастрові дані, геодезичні вимірювання, ГІС та дистанційне зондування [7; 8; 22; 23; 24]. При цьому дистанційні методи доцільно розглядати не як заміну наземним спостереженням, а як засіб оперативного виявлення змін і визначення ділянок, що потребують детальнішого обстеження.

Для водних систем параметричне оцінювання має доповнюватися результатами гідрохімічного, гідрологічного та біологічного моніторингу. Дослідження малих річок, оцінювання процесів евтрофікації та моніторинг водних об'єктів в умовах урбанізації і воєнного впливу свідчать про необхідність одночасного врахування як характеристик водного середовища, так і чинників антропогенного навантаження [11; 14; 15; 16; 25]. За умов комплексної дії загроз особливого значення набуває встановлення просторового та часового накладання різних впливів. Воєнні дії, зміни клімату, деградація земель, урбанізація та техногенне навантаження можуть одночасно змінювати умови функціонування однієї системи, тому оцінювання окремих факторів без урахування їх взаємодії може бути недостатнім. Для водних ресурсів України це особливо актуально, оскільки наслідки воєнного впливу можуть поєднуватися з уже сформованим антропогенним навантаженням та природними процесами [10; 12; 13; 15; 26].

Окремий напрям параметричного оцінювання становить аналіз техногенних факторів, безпосередньо пов'язаних із технологічними процесами. Радіаційні характеристики гірських порід і готової продукції, шумове навантаження під час оброблення природного каменю та інші фізичні фактори можуть визначатися безпосередньо на рівні технологічної операції [27; 28]. Це створює можливість поєднання екологічних критеріїв із параметрами технологічної ефективності та безпеки виробництва. У такому випадку оцінювання екологічної безпеки виходить за межі характеристики стану природного середовища і безпосередньо пов'язується з параметрами технологічного процесу, що є важливим для розвитку інженерно-технологічної складової досліджень.

На основі узагальнення наведених підходів систему оцінювання доцільно формувати за такими групами параметрів: природний стан, техногенне навантаження, небезпечні фактори, просторова структура, динаміка, вразливість та функціональний стан (табл. 2). Така структура охоплює як характеристики фактичного стану системи, так і чинники, що визначають її зміну та здатність виконувати основні функції.

Наведені групи параметрів не доцільно механічно зводити до одного інтегрального показника. В однакове значення узагальненої оцінки можуть трансформуватися принципово різні структури ризику: наприклад, високий рівень техногенного навантаження може поєднуватися з відносно стабільним природним станом або, навпаки, з уже сформованим порушенням функціональних характеристик системи. Тому до застосування інтегральних методів необхідно встановити, які параметри є критичними саме для конкретної системи, яким чином вони пов'язані між собою та які зміни мають функціонально значущі наслідки.

У цьому контексті принциповим є розмежування параметрів, що характеризують наявність загрози, умови її прояву та наслідки для функціонування системи. Таке розмежування дозволяє не ототожнювати сам факт наявності небезпечного фактора з рівнем екологічного ризику. Ризик формується внаслідок взаємодії загрози з експозицією та вразливістю конкретної

системи, а тому однаковий за інтенсивністю вплив може мати різні наслідки залежно від просторової структури території, стану природних компонентів і характеристик техногенних об'єктів.

Таблиця 2.

Основні групи показників оцінювання екологічної безпеки природно-техногенних систем (сформовано авторами)

Група	Характеристика	Приклади показників
Природний стан	Характеризує стан природних компонентів	якість води, стан ґрунтів, рослинність, гідрологічні параметри
Техногенне навантаження	Відображає інтенсивність господарського впливу	викиди, скиди, відходи, площа порушених земель
Небезпечні фактори	Характеризує наявність конкретних загроз	забруднення, пожежі, паводки, радіаційне або шумове навантаження
Просторова структура	Визначає територіальну диференціацію	площа порушених ділянок, зміни земного покриву, фрагментація
Динаміка	Відображає напрям і швидкість змін	темпи деградації, зміни якості води, площі пожеж
Вразливість	Характеризує чутливість системи до впливу	природна стійкість, здатність до самовідновлення, експозиція
Функціональний стан	Характеризує здатність системи виконувати основні функції	водорегулювання, продуктивність, самоочищення, екосистемні функції

Отже, параметричне оцінювання має бути спрямоване не стільки на отримання узагальненої характеристики «безпечного» або «небезпечного» стану, скільки на виявлення критичних параметрів і встановлення меж їх допустимої зміни. Саме така інформація має безпосереднє значення для подальшого вибору способів зниження ризику. Якщо критичним є параметр якості води, відповідні рішення можуть бути спрямовані на локалізацію джерела забруднення або зміну режиму водокористування; для деградованих земель – на відновлення властивостей ґрунту та просторову організацію землекористування; для техногенного об'єкта – на зміну технологічного режиму, локалізацію впливу або модернізацію обладнання.

Таким чином, запропонований підхід поєднує параметричний, просторовий, динамічний та ризик-орієнтований компоненти оцінювання. Його результатом є визначення не лише поточного стану природно-техногенної системи, а й критичних характеристик, зміна яких свідчить про необхідність цілеспрямованого впливу. Саме визначення таких параметрів створює методичний зв'язок між оцінюванням екологічної безпеки та наступним етапом – обґрунтуванням управлінських, природоорієнтованих та інженерно-технологічних рішень щодо зниження екологічного ризику.

4. Інженерно-технологічні та інформаційні підходи до забезпечення екологічної безпеки

Забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем доцільно розглядати як керований процес зниження небезпечного впливу, експозиції та вразливості системи з урахуванням її просторової структури, функціональних характеристик і характеру взаємодії природних та техногенних компонентів. Сучасні підходи до оцінювання екологічної безпеки свідчать про доцільність комплексного врахування екологічного ризику, чутливості території, стану екосистемних функцій і просторової структури ландшафтів [1]. Тому вибір заходів має визначатися не загальним переліком природоохоронних дій, а встановленим механізмом формування ризику та критичними параметрами, на які необхідно впливати.

Перший напрям – територіально-параметричне регулювання навантаження та зниження вразливості системи. Він передбачає регулювання господарської діяльності, оптимізацію структури землекористування, врахування природних обмежень під час просторового планування та диференціацію заходів залежно від властивостей конкретної території. Для природно-техногенних систем принциповим є узгодження господарського використання з природними властивостями ландшафтів, структурою земельних і водних ресурсів та їх функціональним взаємозв'язком. Використання кадастрової інформації та ландшафтного підходу створює можливість диференціювати управлінські рішення за просторовими характеристиками території [22; 30; 31]. Водночас зниження вразливості передбачає не лише обмеження навантаження, а й підтримання функціональної здатності природних компонентів. Для земельних систем це може бути пов'язано із запобіганням деградаційним та ерозійним процесам, відновленням ґрунтового покриву й удосконаленням структури землекористування.

Другий напрям – інженерно-технологічне зниження екологічного навантаження. Його основу становлять удосконалення технологічних процесів, локалізація джерел впливу, зменшення утворення відходів, повторне використання ресурсів, очищення викидів і стічних вод, а також підвищення ресурсоефективності виробництва. При цьому технічний об'єкт або технологічний процес доцільно розглядати одночасно як потенційне джерело екологічного навантаження та як об'єкт, параметри якого можуть бути змінені для його зниження. Дослідження передумов упровадження регіональної системи управління відходами показують важливість узгодження технологічних рішень із територіальною організацією потоків відходів, інфраструктурою та взаємодією суб'єктів управління [1]. Для виробничих процесів важливим є безпосередній контроль фізичних факторів впливу. Зокрема, дослідження радіаційних характеристик гірських порід і готової продукції та шумового навантаження під час оброблення природного каменю демонструють можливість оцінювання екологічних і безпекових параметрів на рівні окремої технологічної операції [27;

28]. Це створює основу для поєднання екологічних критеріїв із показниками технологічної ефективності та безпеки виробництва.

Третій напрям – природоорієнтовані та комбіновані рішення. Їх застосування пов'язане з використанням природних процесів для регулювання водного режиму, зменшення ерозії, стабілізації ґрунтів, підтримання рослинного покриву та збереження екосистемних функцій. Водночас природоорієнтовані рішення не доцільно розглядати як універсальну альтернативу інженерним заходам. Їх результативність залежить від типу загрози, просторових умов, характеристик природного середовища та тривалості очікуваного ефекту. Тому для природно-техногенних систем більш обґрунтованим є функціональне поєднання природних та інженерних рішень. Наприклад, регулювання поверхневого стоку може передбачати одночасне використання технічних споруд, відновлення рослинного покриву та просторове регулювання землекористування. Такий підхід відповідає сучасній практиці оцінювання екологічної безпеки, у якій природні функції, екологічна чутливість і просторова структура розглядаються як взаємопов'язані характеристики системи [9, 10].

Четвертий напрям – інформаційно-вимірювальне забезпечення та моніторинг результативності рішень. Моніторинг у запропонованому підході має виконувати не лише контрольну, а й діагностичну та коригувальну функції. Його завданням є виявлення негативних тенденцій, визначення критичних змін параметрів та отримання інформації для своєчасного коригування управлінських або технологічних рішень. Для цього доцільно поєднувати наземні спостереження, лабораторні дослідження, геодезичні вимірювання, дистанційне зондування та геоінформаційний аналіз. Сучасні геодезичні технології розширюють можливості просторового оцінювання стану земельних ресурсів і виявлення змін на віддалених або складнодоступних територіях [7; 8], тоді як організація моніторингу малих річок в умовах урбанізації та воєнних дій потребує врахування просторової структури навантаження та змін умов функціонування водних систем [25]. Таким чином, інформаційне забезпечення має бути безпосередньо інтегроване в процес прийняття та коригування рішень.

Окремим складовим елементом запропонованого підходу є відновлення порушених природно-техногенних систем. Воно охоплює ремедіацію та рекультивацію земель, відновлення водних екосистем, відтворення рослинного покриву, локалізацію забруднення та відновлення пошкодженої інфраструктури. Для України цей напрям набуває особливого значення внаслідок поєднання тривалого антропогенного навантаження з наслідками воєнних дій. Дослідження впливу військових операцій на природно-заповідний фонд та водні ресурси України свідчать про комплексний характер таких порушень, що потребує поєднання оцінювання поточного стану, локалізації наслідків і подальшого відновлення [21; 26]. При цьому відновлювальні заходи мають бути спрямовані не лише на усунення вже сформованих порушень, а й на зниження ймовірності їх повторного виникнення.

Отже, забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем доцільно здійснювати як взаємопов'язану систему територіально-параметричних, інженерно-технологічних, природоорієнтованих, інформаційно-моніторингових та відновлювальних рішень. Їх вибір має визначатися характером загрози, рівнем експозиції та вразливістю системи, а результативність – фактичною зміною критичних параметрів її стану. У такій логіці природоохоронний захід розглядається не як самодостатня дія, а як цілеспрямований вплив на конкретну характеристику системи: джерело забруднення, шлях його міграції, структуру землекористування, параметри поверхневого стоку, надійність технологічного процесу або інший фактор, що визначає рівень ризику. Це формує основу для переходу від сукупності окремих заходів до концептуально-параметричної моделі, що поєднує оцінювання ризику, вибір рішення, його реалізацію, моніторинг результатів та коригування відповідно до фактичної зміни критичних параметрів системи.

5. Структурно-параметрична модель забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем

Проведений аналіз показує, що забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем доцільно розглядати не як сукупність окремих природоохоронних заходів, а як послідовний процес виявлення небезпечних чинників, оцінювання стану системи, визначення критичних параметрів та обґрунтування відповідних рішень. Ефективність таких рішень залежить від узгодженості між характером загрози, просторовою структурою території, станом природних і технічних компонентів та очікуваними наслідками їх порушення. На цій основі запропоновано концептуально-параметричну модель, що поєднує оцінювання екологічного ризику з вибором, реалізацією та контролем результативності управлінських, природоорієнтованих та інженерно-технологічних рішень (рис. 2).

Такий підхід узгоджується із сучасним ризик-орієнтованим розумінням взаємозв'язку між загрозою, експозицією та вразливістю системи [17].

Вихідним елементом моделі є ідентифікація загроз та встановлення їх просторового і функціонального зв'язку з компонентами природно-техногенної системи. Залежно від конкретної території загрози можуть мати природне, антропогенне, техногенне, воєнне або комбіноване походження. Для сучасних систем особливого значення набуває їх одночасна або послідовна дія, тому оцінювання окремого джерела впливу не завжди відображає фактичний рівень небезпеки. На наступному етапі визначаються експозиція та вразливість системи. При цьому вразливість розглядається як змінна характеристика, що залежить від стану природних компонентів, структури землекористування, водного режиму, технічного стану інфраструктури та попередніх порушень. Такий підхід дає змогу перейти від загальної характеристики небезпеки до оцінювання конкретних умов її прояву.

Ключовим елементом запропонованої моделі є визначення критичних параметрів, за якими можна оцінити функціональний стан системи та

результативність прийнятих рішень. До них можуть належати показники стану ґрунтів і вод, характеристики техногенного навантаження, параметри просторових змін, показники якості природних компонентів, а також характеристики технічних об'єктів і технологічних процесів. Вибір параметрів має визначатися типом системи та механізмом формування конкретного ризику. Саме параметричний підхід забезпечує можливість пов'язати загальну оцінку екологічної безпеки з конкретними вимірюваними характеристиками системи.

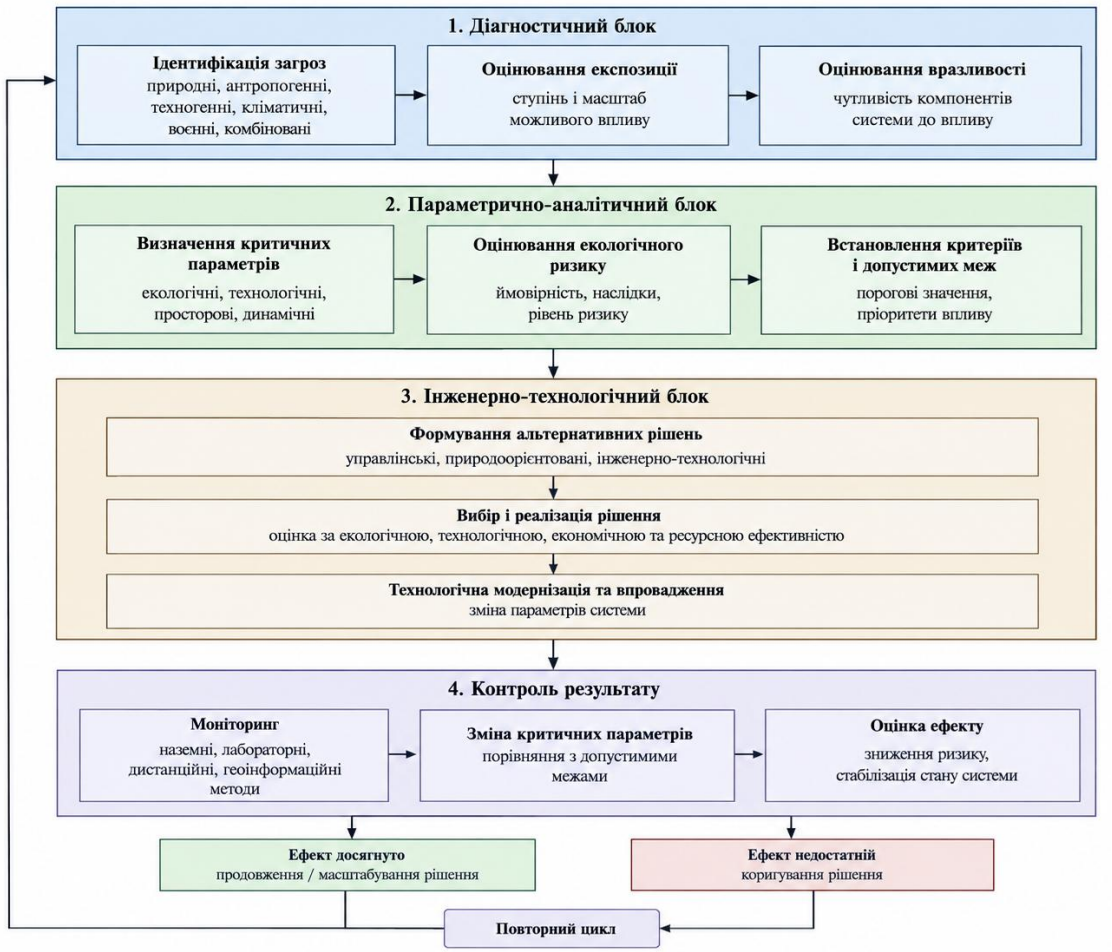


Рис. 2. Структурно-параметрична модель обґрунтування інженерно-технологічних рішень у системі екологічної безпеки

(розроблено авторами; графічна візуалізація виконана з використанням інструментів ШІ)

Важливою особливістю моделі є поєднання просторової та параметричної інформації. Дані кадастрового забезпечення, геодезичних спостережень, дистанційного зондування та інших видів моніторингу можуть використовуватися для встановлення просторової диференціації стану території та виявлення змін у часі [15; 21]. Для водних систем відповідні підходи доповнюються спеціальними програмами моніторингу, які враховують характер антропогенного та воєнного навантаження [20]. Таким чином, інформаційне

забезпечення моделі має формувати не лише опис поточного стану, а й основу для порівняння його змін після реалізації певного рішення.

Наступним етапом є оцінювання екологічного ризику та вибір способу його зниження. Залежно від характеру загрози та встановлених критичних параметрів можуть застосовуватися превентивні, територіально-планувальні, природоорієнтовані, інженерно-технологічні або відновлювальні рішення. Їх поєднання визначається конкретними умовами функціонування системи, тому запропонована модель не передбачає універсального набору заходів. Природоорієнтовані рішення доцільно застосовувати там, де використання або відновлення природних процесів може сприяти зниженню ризику, однак їх вибір має здійснюватися з урахуванням конкретної загрози та очікуваного ефекту [18; 19].

Особливе місце у моделі займають інженерно-технологічні рішення. Технічні об'єкти та технологічні процеси можуть бути не лише джерелами екологічного навантаження, а й засобами його зменшення. Тому екологічні критерії доцільно пов'язувати з параметрами технологічних процесів, ресурсоефективністю, локалізацією джерел впливу, очищенням, технічним контролем та модернізацією інфраструктури. У такому разі вибір рішення здійснюється не лише за фактом наявності екологічної проблеми, а за можливістю цілеспрямовано змінити критичні параметри системи. Це положення є важливим для розвитку технічної складової досліджень екологічної безпеки.

Реалізація обраного рішення не є завершальним етапом моделі. Його результативність має визначатися за фактичною зміною критичних параметрів системи. Тому після впровадження заходів здійснюється повторне оцінювання відповідних показників із використанням даних моніторингу. Такий підхід дає змогу встановити, чи привело рішення до очікуваного зниження навантаження або ризику. Для просторово розподілених систем важливу роль у цьому процесі можуть відігравати дистанційні та геодезичні методи спостереження [21], тоді як для водних об'єктів – систематичні гідрохімічні та екологічні спостереження [15].

Якщо фактичний ефект відповідає визначеним критеріям, рішення може бути продовжене або поширене на аналогічні ділянки. Якщо очікуваного ефекту не досягнуто, результати моніторингу використовуються для коригування рішення та повторного проходження відповідного циклу. Саме наявність такого зворотного зв'язку відрізняє запропонований підхід від моделей, орієнтованих переважно на одноразове оцінювання стану довкілля. У цьому випадку моніторинг виконує не тільки інформаційну, а й регуляторну функцію.

Основним результатом є концептуальне поєднання таких елементів: ідентифікація загрози → оцінювання експозиції та вразливості → визначення критичних параметрів → оцінювання ризику → вибір рішення → його реалізація → моніторинг результатів → коригування рішення. Така послідовність формує причинно-наслідковий зв'язок між характеристиками загрози, станом природно-техногенної системи, прийнятим рішенням та фактичним результатом його реалізації.

Наукове значення запропонованого підходу полягає у переході від переважно описового оцінювання екологічного стану до параметрично орієнтованого обґрунтування заходів. Практична цінність полягає у можливості представлення окремих блоків моделі через систему індикаторів, критеріїв та порогових значень, що створює передумови для кількісного порівняння альтернативних рішень. Водночас на цьому етапі модель залишається концептуальною: конкретні математичні залежності та алгоритми мають визначатися залежно від типу природно-техногенної системи, характеру загрози та доступних даних. Саме така постановка створює основу для подальшого розвитку фізико-математичних методів оцінювання та технічного обґрунтування екологічно безпечних рішень.

Таким чином, запропонована модель розглядає забезпечення екологічної безпеки як керований процес зміни критичних параметрів природно-техногенної системи під впливом обґрунтованих управлінських, природоорієнтованих та інженерно-технологічних рішень. Її принциповою особливістю є поєднання оцінювання ризику, параметричного контролю та зворотного зв’язку, що забезпечує можливість коригування рішень відповідно до фактичних змін стану системи.

Висновки. Проведене дослідження дозволило удосконалити науково-методичні засади забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних систем з урахуванням комплексної дії природних, антропогенних, техногенних, кліматичних і воєнних загроз. Обґрунтовано доцільність переходу від оцінювання окремих негативних чинників до системного врахування взаємозв’язків між загрозами, експозицією, вразливістю, екологічним ризиком та функціональним станом системи.

Удосконалено підхід до параметричного оцінювання екологічної безпеки шляхом поєднання показників природного стану, техногенного навантаження, небезпечних факторів, просторової структури, динаміки, вразливості та функціонального стану. Встановлено, що їх склад має визначатися типом природно-техногенної системи, характером загрози та механізмом формування ризику. Визначення критичних параметрів розглядається як основа для подальшого обґрунтування конкретних заходів впливу.

Обґрунтовано доцільність інтеграції результатів наземного моніторингу, лабораторних досліджень, геодезичних вимірювань, геоінформаційних технологій та дистанційного зондування для отримання просторово-часової інформації про стан системи. Показано, що такі технології мають використовуватися комплексно, з урахуванням специфіки досліджуваної території та необхідності підтвердження виявлених змін наземними спостереженнями.

Визначено основні напрями забезпечення екологічної безпеки, що охоплюють територіально-планувальні, превентивні, природоорієнтовані, інженерно-технологічні, моніторингові та відновлювальні рішення. Обґрунтовано необхідність їх вибору відповідно до характеру загрози, механізму формування

ризику та критичних параметрів системи. Особливу увагу приділено інженерно-технологічним рішенням, оскільки параметри технологічних процесів і технічних об'єктів можуть бути безпосередньо пов'язані як із формуванням екологічного навантаження, так і з можливістю його зниження.

Запропоновано концептуально-параметричну модель забезпечення екологічної безпеки, що поєднує ідентифікацію загроз, оцінювання експозиції та вразливості, визначення критичних параметрів, оцінювання ризику, вибір і реалізацію відповідних рішень, моніторинг результатів та їх подальше коригування. Циклічність моделі та наявність зворотного зв'язку забезпечують можливість адаптації управлінських і технічних рішень до фактичних змін параметрів природно-техногенної системи.

Наукова новизна дослідження полягає у системному поєднанні параметричного та ризик-орієнтованого оцінювання з обґрунтуванням природоорієнтованих і інженерно-технологічних способів зниження екологічного ризику. Це дозволяє розглядати екологічну безпеку не лише як характеристику поточного стану території, а як процес цілеспрямованого управління критичними параметрами природно-техногенної системи.

Практичне значення запропонованого підходу полягає у створенні основи для подальшої формалізації взаємозв'язків між критичними параметрами, рівнем екологічного ризику та результативністю технічних рішень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення конкретних критеріїв, порогових значень і кількісних залежностей для окремих типів природно-техногенних систем та обґрунтування на цій основі альтернативних інженерно-технологічних рішень.

Список використаних джерел

1. Zhu, B., Hashimoto, S., Cushman, S. A. *Navigating ecological security research over the last 30 years: a scoping review*. Sustainability Science, 2023. 18, 2485–2498. DOI: 10.1007/s11625-023-01362-9.

2. Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973. 4, 1–23. DOI: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245.

3. Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. (2004). *Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems*. Ecology and Society, 2004. 9(2), 5. DOI: 10.5751/ES-00650-090205.

4. Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S. et al. A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2020. Vol. 1. P. 333–347. DOI: 10.1038/s43017-020-0060-z.

5. Bastos, A., Sippel, S., Frank, D. et al. A joint framework for studying compound ecoclimatic events. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023. Vol. 4. P. 333–350. DOI: 10.1038/s43017-023-00410-3.

6. Jiafeng Wen, Kang Hou *Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations*. Ecological Indicators. 2021. Vol. 127. 107797. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107797.

7. Liu, P., Zhang, X., Ma, C. et al. Ecological Security Assessment Based on Remote Sensing and Landscape Ecology Model. *Journal of Sensors.* 2021. 6684435. DOI: 10.1155/2021/6684435

8. M. Kamran, K. Yamamoto Evolution and use of remote sensing in ecological vulnerability assessment: A review. *Ecological Indicators.* 2023. Vol. 148. 110099. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110099

9. Matsala, M., Odruzhenko, A., Hinchuk, T. et al. War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine. Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Article 4131. DOI: 10.1038/s41598-024-54811-5.

10. Leal Filho, W., Eustachio, J. H. P. P., Fedoruk, M., Lisovska, T. War in Ukraine: an overview of environmental impacts and consequences for human health. Frontiers in Sustainable Resource Management. 2024. Vol. 3. Article 1423444. DOI: 10.3389/fsrma.2024.1423444.

11. Snizhko, S., Didovets, I., Bronstert, A. Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. Water Security. 2024. Vol. 23. Article 100182. DOI: 10.1016/j.wasec.2024.100182.

12. Hapich et al., Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. Water Security. 2024. Vol. 21. Article 100167.DOI: 10.1016/j.wasec.2024.100167.

13. Spears, B. M., Harpham, Q., Brown, E. et al. A rapid environmental risk assessment of the Kakhovka Dam breach during the Ukraine conflict. Nature Ecology & Evolution. 2024. Vol. 8. P. 834–836. DOI: 10.1038/s41559-024-02373-0.

14. Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S. et al. A typology of compound weather and climate events. Nature Reviews Earth & Environment. 2020. 1. 333–347. DOI: 10.1038/s43017-020-0060-z.

15. Patseva I., Lukianova V., Anpilova Y., Mohelnytska L., Herasymchuk O. The ecological assessment of small rivers in Ukraine under conditions of intensive war impact. Romanian Journal of Geography. Volume 68(1), 2024. P. 127-134. DOI:10.59277/RRG.2024.1.08

16. Iryna Kotsiuba, Vitalina Lukianova, Yevheniia Anpilova, Tetiana Yelnikova, Olena Herasymchuk, Oksana Spasichenko.The Features of Eutrophication Processes in the Water of the Uzh River. Ecological Engineering & Environmental Technology 2022, 23(2), 9–15. - Режим доступу: https://doi.org/10.12912/27197050/145613

17. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner H.-O., Roberts D. C., Tignor M. et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.

18. Seddon N., Smith A., Smith P., Key I., Chausson A., Girardin C., House J., Srivastava S., Turner B. Getting the message right on nature-based solutions to climate change. Global Change Biology. 2021. Vol. 27, No. 8. P. 1518–1546. DOI: 10.1111/gcb.15513.

19. Kumar P., Debele S. E., Sahani J., Rawat N., Marti-Cardona B., Alfieri S. M., Basu B., Basu A. S., Bowyer P., Charizopoulos N., Gallotti G., Juvonen J., Leo L. S., Loupis M., Menenti M., Mickovski S. B., Mun S.-J., Gonzalez-Ollauri A., Pfeiffer J., Pilla F., Proll J., Rutzinger M., Santo M. A., Sannigrahi S., Spyrou C., Tuomenvirta H., Zieher T. Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations. Science of the Total Environment. 2021. Vol. 784. Article 147058. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147058.

20. Kotsiuba I., Herasymchuk O., Shamrai V., Lukianova V., Anpilova Y., Rybak O., Lefter I. A Strategic Analysis of the Prerequisites for the Implementation of Waste Management at the Regional Level. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2023. Vol. 24(1). P. 55-66. DOI:10.12912/27197050/154918

21. Uvaieva O., Shevchuk L., Herasymchuk O., Vasilieva L. Impact of Military Operations on the Nature Reserve Fund of Ukraine. Environmental Problems. Vol. 10, № 3. P. 259-268. https://doi.org/10.23939/ep2025.03.259

22. Герасимчук О. Л., Шевчук Л. М., Васільєва Л. А., Кагукіна А. М. Кадастрові системи України у контексті ландшафтного підходу до управління природними ресурсами. Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio. 2026. Вип. (2). С. 7–15. https://doi.org/10.32782/2786-5843/2026-2-1

23. Браславська О.В., Нестеренко С.В., Герасимчук О.Л. Дистанційний геодезичний моніторинг: ключовий інструмент сталого управління земельними ресурсами. Містобудування та територіальне планування. 2025. Вип. 89. С. 488-502. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.488-502

24. Герасимчук О. Л., Гой В. В., Харів В. В. Використання сучасних геодезичних технологій для проведення оцінки земельних ресурсів у віддалених районах. Технічнінауки та технології. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. No 4(38). С. 313-324. DOI: 10.25140/2411-5363-2024-4(38)-313-324

25. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Герасимчук О.Л., Скиба Г.В., Хоменко С.В. Особливості планування та реалізації моніторингу малих річок в умовах урбанізації та військових дій. Науковий вісник ХДУ. Серія: Географічні науки. 2024. Вип. 21. С. 36-46. DOI: 10.32999/ksu2413-7391/2024-21-4

26. Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Кірейцева Г. В., Герасимчук О. Л., Скиба Г. В., Хоменко С. В. Антропогенний вплив війни на водні ресурси: аналіз та потенційні шляхи відновлення. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2024. № 3. С. 51–59. DOI: 10.32782/pcsd-2024-3-7

27. Криворучко А. О., Іськов С. С., Герасимчук О. Л., Муштаєв О. В., Муштаєв К. О. Дослідження та радіаційний контроль за породами в кар'єрі та готовою продукцією на Городському родовищі граніту та мігматиту з метою захисту працівників та недопущення професійних захворювань. Технічна інженерія. 2024. Вип. 1(93). С. 363–371. https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-363-371

28. Іськов С. С., Криворучко А. О., Герасимчук О. Л., Башинський С. І., Остафійчук Н. М. Дослідження рівня шумового навантаження під час різання природного каменю дисковим алмазним інструментом. Технічна інженерія. 2024. Вип. 1(93). С. 339–347. https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-339-347

29. Герасимчук О.Л., Шевчук Л.М., Васільєва Л.А. Кадастрове забезпечення ландшафтного підходу до управління земельно-водними системами на регіональному рівні. Екологічні науки. 2026. № 2(65). С. 353-358. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.50

30. Герасимчук О.Л., Мельник-Шамрай В.В., Шевчук Л.М., Васільєва Л.А. Інноваційні підходи до розвитку землеустрою в контексті сталого розвитку територій. Екологічні науки : науково-практичний журнал. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2024. № 4(55). С.202-206. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.33

31. Герасимчук О. Л., Шевчук Л. М., Васільєва Л. А., Кагукіна А. М. Кадастрове забезпечення ландшафтного підходу до управління земельно-водними системами на регіональному рівні. *Екологічні науки*. 2026. № 2(65). С. 353–358. DOI: 10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.50.

CHAPTER 6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF MODERNIZATION OF VOCATIONAL EDUCATION: THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ASPECTS

6.1. Innovative Technologies as a Factor in the Modernization and Development of the Vocational Education System

Modernization of professional education in modern conditions is a strategic priority for the development of the educational system of Ukraine and a prerequisite for the formation of competitive human capital. Dynamic changes in the economy, digitization of production processes, the emergence of new professions and the transformation of traditional types of activity necessitate the renewal of the content, forms and methods of professional training. In this context, innovative learning technologies play a key role, as they ensure the transition from a traditional, educationally oriented model of education to a competency-based approach that meets the modern requirements of the labor market [10].

The role of innovative technologies in the modernization of professional education is primarily manifested in the change of the educational paradigm, where the learner becomes an active subject of the educational process. Innovative technologies are focused on the development of independence, responsibility and the ability to learn throughout life. They contribute to the formation of key and professional competencies necessary for successful work, in particular communicative, digital, social and entrepreneurial. Thus, innovative learning technologies ensure the integration of professional education into the modern socio-economic space [2, c. 408].

An essential aspect of the modernization of professional education is updating the content of training in accordance with the current needs of production and the service sector. Innovative technologies make it possible to quickly adapt educational programs to changes in professional activity, integrate the latest achievements of science and technology, and provide an interdisciplinary approach to the training of specialists. Thanks to the use of digital resources, simulation programs and virtual environments, students get the opportunity to familiarize themselves with modern technological processes, even in the absence of appropriate material and technical support in a higher education institution.

Innovative learning technologies play an important role in improving the quality of professional training of education seekers. They contribute to the activation of cognitive activity, the formation of practical abilities and skills, the development of critical thinking and the ability to apply knowledge in real production situations. The use of interactive methods, project-based and problem-based learning allows combining theoretical training with practical activities, which is especially important for higher education institutions. As a result, the level of readiness of graduates to perform professional duties and their adaptation to the conditions of modern production increases.

An important direction in the modernization of professional education is the digitalization of the educational process, which is closely related to the introduction of

innovative learning technologies. Information and communication technologies provide access to a wide range of educational resources, contribute to the development of distance and mixed learning, and also expand the possibilities of individualization of the educational process. In professional education, digital technologies allow the use of electronic training courses, virtual laboratories, online simulators and platforms for professional development, which increases the effectiveness of training and ensures its flexibility [32, c. 304].

The role of innovative technologies in the modernization of professional education also lies in the improvement of organizational forms of education. They contribute to the transition from strictly regulated educational classes to flexible models of organizing the educational process, which combine classroom, remote and industrial training. This approach allows taking into account the individual educational needs of the students, their level of training and professional interests. In addition, innovative technologies contribute to the development of a dual form of education, which ensures close interaction of educational institutions with employers and production enterprises.

Innovative technologies are of particular importance for the professional development of teaching staff. Modernization of professional education is impossible without raising the level of pedagogical skills of teachers. Innovative technologies stimulate teachers to introduce new methods and forms of learning, contribute to the development of their digital and methodical competence, and also form readiness for continuous professional self-improvement. As a result, the role of the teacher changes, becoming not only a source of knowledge, but also a mentor, consultant and facilitator of the educational process [17].

Innovative technologies play an important role in the formation of partnerships between vocational education institutions and social partners. Cooperation with employers, industry associations and local communities contributes to the implementation of modern educational practices, updating the material and technical base and increasing the practical orientation of education. Thanks to the use of innovative technologies, it becomes possible to jointly develop educational programs, organize internships and industrial practice, as well as evaluate the results of training taking into account the requirements of professional standards.

In the process of modernizing vocational education, innovative technologies help enhance the social significance and appeal of the sector. They foster a positive image for educational institutions, boost young people's interest in various professions, and encourage learners to engage actively in the educational process. Through the use of modern teaching technologies, vocational education becomes more open, accessible, and responsive to the needs of both learners and society as a whole [4, p. 376].

Thus, innovative technologies play a pivotal role in modernizing vocational education, ensuring it meets contemporary challenges and labor market demands. They contribute to improving the quality of the educational process, developing learners' professional competencies, fostering the professional growth of educators, and strengthening ties between education and industry. The implementation of innovative technologies is essential for the sustainable development of the vocational education

system and for training a new generation of specialists capable of performing effectively amidst constant change.

6.2. Classification Characteristics of Innovative Teaching Technologies

The innovative development of the vocational education system is an objective necessity amidst modern socio-economic transformations, scientific and technological progress, and rising demands regarding the quality of training for skilled workers and specialists. The implementation of innovative teaching technologies is viewed as a key factor in enhancing the efficiency of the educational process, fostering the professional competencies of learners, and ensuring their competitiveness in the labor market. In this context, the theoretical conceptualization of innovative teaching technologies and their scientifically grounded classification—which enables the systematization of approaches to their application in vocational education—assume particular importance [5, p. 358].

The concept of "innovation" derives from the Latin word *innovatio*, meaning renewal, introduction of something new, or change. In pedagogical science, innovations are interpreted as purposeful changes in the educational process that facilitate its qualitative improvement, enhance learning outcomes, and foster the personal development of the learner. Innovative teaching technologies constitute a component of pedagogical innovations, encompassing a set of methods, forms, tools, and organizational solutions aimed at achieving new educational outcomes. They entail a shift away from the traditional reproductive model of learning toward an emphasis on the active, creative, and independent activity of learners.

There is no single, universal definition of innovative teaching technologies in scholarly literature; this is due to the multifaceted nature of the concept and the diverse approaches to its interpretation. Some researchers view innovative technologies as a system of pedagogical actions based on the application of the latest scientific advancements and aimed at optimizing the educational process. Others emphasize their practical orientation, defining innovative technologies as effective methods of organizing instruction that foster active interaction between the instructor and the learner while facilitating the development of key and professional competencies. In vocational education, innovative teaching technologies are particularly closely linked to practical training, workplace-based learning, and the alignment of the educational process with real-world professional conditions [13, p. 416].

Innovative teaching technologies are characterized by several key features, notably novelty, systematicity, effectiveness, adaptability, and a focus on personal development. Novelty lies not only in the use of fundamentally new methods or tools but also in the refinement of traditional approaches through modern scientific and technological achievements. Systematicity implies the integrity and logical coherence of all elements within the educational process, while effectiveness is demonstrated by improved learning outcomes and higher levels of professional training among learners. The adaptability of innovative technologies allows for the consideration of learners' individual characteristics, needs, abilities, and levels of prior preparation [6, p. 352].

In vocational education, innovative teaching technologies perform important functions, among which the motivational, developmental, competence-building, and socializing roles are of particular significance. They foster positive learning motivation and the development of critical thinking, creative abilities, communication skills, and readiness for professional practice. Furthermore, innovative technologies create conditions for active interaction among students and with the instructor, serving as a crucial factor in the socialization of future professionals.

To facilitate the scholarly understanding and practical application of innovative technologies in vocational education, pedagogical science has developed various classification approaches. Classifying innovative teaching technologies makes it possible to organize their diversity and determine the scope of application and pedagogical potential of each. One of the most common approaches classifies them based on the nature of the interaction between participants in the educational process. This approach distinguishes between interactive, cooperative, and communicative teaching technologies, all of which rely on students' active participation in the learning process and the mutual exchange of knowledge and experience.

Information and communication technologies (ICT) play a significant role within the system of innovative teaching technologies, involving the use of digital tools, electronic resources, learning platforms, and multimedia materials. In vocational education, they provide access to up-to-date information, facilitate the visualization of learning material, and expand opportunities for independent student work. The use of ICT enables the integration of theoretical instruction with practical tasks, the simulation of professional scenarios, and the development of digital competence among future professionals [29, p. 336].

Project-based technologies also hold an important place among innovative teaching methods; they are grounded in the independent activity of learners aimed at solving practically significant problems. Project-based activity fosters the development of professional skills and abilities, as well as a sense of responsibility, initiative, and teamwork skills. In vocational education, project-based methods are often linked to the execution of production tasks, the development of technological processes, or the creation of products that closely resemble real-world professional conditions.

Modular learning technologies constitute a distinct group of innovative methods; they involve structuring educational material into logically self-contained modules. This approach facilitates the step-by-step acquisition of knowledge, ensures flexibility in the learning process, and allows for individualized instruction. In vocational education institutions, modular technologies help integrate theoretical training with practical instruction and enable the curriculum to be rapidly updated in response to labor market demands [15, p. 256].

Innovative learning technologies also encompass problem-based approaches, which rely on creating problem situations and engaging students in the active search for solutions. This method fosters analytical thinking and develops the ability to make well-founded decisions and apply knowledge in non-standard situations. In vocational

education, problem-based learning allows for the simulation of real-world production scenarios, preparing learners to handle professional tasks under challenging conditions.

Thus, innovative learning technologies represent a dynamic, multi-faceted phenomenon that plays a pivotal role in the modernization of vocational education. Their theoretical conceptualization and scientifically grounded classification lay the foundation for the effective implementation of innovations in the educational process of higher education institutions and ensure the training of specialists capable of professional activity in the context of modern society.

6.3. Modern Forms, Methods and Means of Organizing Instruction Based on Innovative Technologies

In the process of modernizing vocational education, updating forms, methods, and means of instruction through the use of innovative technologies is of particular importance. It is precisely through a variety of organizational forms and pedagogical interaction methods that the competence-based approach is implemented, the practical orientation of the educational process is ensured, and its effectiveness is enhanced. In higher education institutions, innovative teaching technologies facilitate the transition from traditional, predominantly reproductive forms of learning to active, interactive, and practice-oriented ones that meet modern labor market demands.

Instructional formats utilizing innovative technologies in higher education are characterized by flexibility, adaptability, and a focus on the active participation of students in the educational process. Alongside traditional formats – such as lectures, laboratory sessions, and practical classes – interactive sessions, training workshops, master classes, and project-based or distance learning are becoming increasingly widespread. Innovative organizational forms allow for the integration of theoretical training with practical activity, foster interdisciplinary connections, and facilitate the development of students' professional competencies [12, p. 280].

An important form of instruction utilizing innovative technologies is the interactive session, which is based on active interaction between students and the instructor. This format employs methods such as discussions, small-group work, and the analysis of professional scenarios, thereby stimulating cognitive engagement and the development of communication skills. Interactive classes enable the creation of learning scenarios that closely mirror real-world professional conditions – a particularly relevant approach for vocational and professional education.

Project-based learning is one of the most effective innovative methods in higher education institutions. It involves independent or group work by students aimed at creating a tangible practical product or solving a professionally oriented problem. Through project-based activities, students learn to plan their work, analyze information, make decisions, and take responsibility for the final outcome. This approach fosters not only professional competencies but also social and entrepreneurial skills, thereby enhancing graduates' readiness for independent professional practice [14, p. 384].

Teaching methods utilizing information and communication technologies (ICT) are widely employed in professional education. These include the use of electronic

textbooks, multimedia presentations, educational videos, online platforms, and digital simulators. Such methods allow for the visualization of complex technological processes, provide access to up-to-date professional information, and facilitate the development of students' digital competence. In higher education, the use of ICT is crucial for training specialists for modern industry, where digital technologies are an integral part of professional activity.

Problem-based learning, as an innovative method, is widely used in the professional training of students to develop their critical thinking and their ability to independently solve professional problems. The essence of this method lies in creating problem-based situations that require learners to analyze issues, seek alternative solutions, and draw well-founded conclusions. In vocational and professional education, problem-based tasks are often linked to real-world workplace scenarios, enabling learners to gain practical experience while still in training.

The case study method – which involves analyzing specific professional situations – is an effective teaching approach that utilizes innovative technologies. Working with case studies allows learners to apply theoretical knowledge in practice, develop analytical and communication skills, and cultivate teamwork abilities. In higher education institutions, the case study method is frequently employed during practical training and preparation for professional internships, as it helps foster readiness for the actual conditions of professional practice.

Blended learning – which combines traditional classroom instruction with remote learning formats – holds a significant place among innovative teaching methods. This approach ensures flexibility in the educational process, accommodates individual learner needs, and creates opportunities for independent study of the course material. In higher education, blended learning serves as an effective tool for organizing theoretical instruction and enhancing the quality of students' independent work.

A significant example of the use of innovative teaching forms and methods in higher education institutions is the training of students in a specialty such as "Food Technologies." For instance, when studying a topic related to preparing modern cuisine dishes, the instructor organizes the educational process as a project-based session utilizing information and communication technologies. Students work in groups, receiving tasks to develop a dish's technical specification sheet, select ingredients, calculate production costs, and present the results via a multimedia presentation. The process incorporates instructional videos, online recipes, and digital calculators, enabling the integration of theoretical knowledge with practical skills [16, p. 296].

Conducting such a session involves various teaching methods, including problem-based learning, small-group work, the case method, and reflective discussion of outcomes. Students not only complete the practical task but also analyze errors made, discuss potential ways to improve the result, and evaluate their own performance. This form of instruction fosters professional autonomy, responsibility, and a creative approach to executing professional tasks.

Thus, the use of innovative teaching forms and methods in higher education institutions enhances the quality of professional training, facilitates the development of

professional and key competencies, and ensures readiness for the actual conditions of professional practice. The combination of interactive, project-based, problem-based, and digital teaching methods creates the conditions for the effective implementation of innovative technologies in the educational process of higher education institutions and fosters the training of competitive professionals.

6.4. Pedagogical Conditions and Factors for the Effective Implementation of Innovative Technologies in the Educational Process

The effective implementation of innovative technologies in higher education institutions is a complex, multidimensional process that requires the creation of appropriate pedagogical conditions. These pedagogical conditions determine the effectiveness of innovation, as they ensure alignment among the goals of professional education, the curriculum content, pedagogical interaction methods, and the expected outcomes of specialist training. Amidst the current reform of the professional education system, establishing and implementing such conditions has become particularly urgent; without a scientifically grounded pedagogical foundation, the adoption of innovative technologies risks being merely fragmentary or superficial.

The pedagogical conditions for implementing innovative technologies in higher education institutions are viewed as a combination of organizational, methodological, psycho-pedagogical, and social factors that ensure the integrity and effectiveness of the educational process. A key condition is the existence of a clearly defined strategy for the institution's innovative development, one that entails the systematic implementation of new teaching technologies rather than their sporadic use. Such a strategy must be grounded in modern educational concepts, the requirements of state standards for professional education, and the actual needs of the labor market [31, p. 5].

Another crucial pedagogical condition is the readiness of teaching staff to implement innovative technologies. The level of professional competence among academic and teaching staff largely determines the success of innovative changes. An educator must possess not only theoretical knowledge of innovative technologies but also the practical skills to apply them, as well as the capacity for pedagogical design, reflection, and self-analysis. Developing such readiness requires systematic professional development, participation in training sessions and methodological seminars, the exchange of experience, and engagement in innovative activities.

Creating a favorable psychological and pedagogical environment within higher education institutions is an equally important condition. Innovative technologies require an atmosphere of trust, cooperation, and partnership among all participants in the educational process. A positive psychological climate helps reduce student anxiety and boosts both their motivation to learn and their readiness to actively participate in innovative forms of work. At the same time, the educator should act not merely as a source of knowledge but as a facilitator of the learning process who supports student initiative and encourages independent activity [9].

A crucial pedagogical condition for the effective implementation of innovative technologies in vocational education is aligning the educational process with a

competence-based approach. Innovative technologies must aim not only to impart knowledge but also to develop students' professional, core, and social competencies. This entails the active use of practice-oriented tasks, the simulation of professional scenarios, and the engagement in project-based and research activities, all of which bring the educational process closer to the real-world conditions of future professional practice. Methodological support plays a crucial role in the implementation of innovative technologies. The availability of modern teaching and learning materials, electronic resources, didactic tools, and educational platforms lays the foundation for the effective organization of the educational process. Such support must be flexible and adaptable, enabling the curriculum to be promptly updated in line with changes in the professional field. In higher education institutions, it is particularly important to combine traditional learning materials with digital resources and interactive teaching tools.

One of the key pedagogical conditions is ensuring the practical orientation of innovative teaching technologies. In higher education institutions, innovations must be closely linked to vocational training and professional practice. The use of simulation technologies, virtual trainers, case study methods, and dual education models fosters the development of professional competencies and skills essential for successful employment. This approach integrates theoretical and practical training and enhances graduates' readiness for professional practice [30, p. 428].

The effective implementation of innovative technologies in higher education institutions is impossible without adequate material, technical, and information resources. The availability of modern equipment, computer hardware, software, and Internet access is a crucial prerequisite for implementing innovative educational practices. At the same time, pedagogical conditions are not limited to technical resources; even with limited material means, the effectiveness of innovations depends on the educators' creative approach and the rational use of available teaching tools.

The management system of the educational process in higher education institutions plays a vital role in the implementation of innovative technologies. Pedagogical management should focus on supporting innovative initiatives, creating conditions for experimental activities, and encouraging educators to adopt new approaches. Effective management entails monitoring the outcomes of innovative activities, analyzing their effectiveness, and adjusting the educational process based on the results obtained. Engaging learners in active educational activities is also a crucial pedagogical condition. Innovative technologies should foster the development of their cognitive engagement, sense of responsibility for learning outcomes, and capacity for self-directed learning. Cultivating motivation for professional growth, as well as developing teamwork skills and the ability to make independent decisions, are vital components of an effective educational process within the framework of innovative learning [7, p. 420].

Thus, the pedagogical conditions for the effective implementation of innovative technologies in higher education institutions constitute a complex of interrelated factors, encompassing the professional readiness of educators, a favorable educational

environment, methodological and material-technical support, a competency-based approach to learning, and effective management of the educational process. Their purposeful establishment and implementation create the necessary foundation for modernizing professional education and training qualified specialists capable of successful professional practice in contemporary society.

6.5. Methodological Approaches to Integrating Innovative Technologies into the Professional Training of Learners

The methodology for applying innovative technologies in the educational process of higher education institutions is a crucial component of modernizing the professional training system for students. Amidst dynamic changes in the socio-economic environment and constantly evolving requirements for professional competencies, identifying effective methodological approaches to organizing the educational process has become particularly relevant. It is precisely these methodological approaches that determine how innovative technologies are implemented, ensuring their pedagogical validity and focus on achieving specific learning outcomes.

The methodological approach to using innovative technologies in professional training is viewed as a system of teaching principles, methods, and techniques that ensure the purposeful organization of the educational process, taking into account the specific nature of professional education. In higher education institutions, the methodology for applying innovative technologies must integrate theoretical and practical training, focus on developing professional skills and abilities, and foster the personal qualities students need for successful professional practice. This approach entails moving away from traditional reproductive teaching methods toward active, practice-oriented forms of learning [3, p. 312].

One of the leading methodological approaches to utilizing innovative technologies in professional training is the competence-based approach. Its essence lies in orienting the educational process toward developing students' ability to apply their knowledge and skills in real-world professional situations. Within this framework, innovative technologies serve as a means to develop professional, core, and social competencies. Learning tasks take on a practical nature, simulating the conditions of future professional work while fostering independence, responsibility, and teamwork skills.

The activity-based approach plays a pivotal role in the methodology of applying innovative technologies, requiring the active participation of learners in the educational process. This approach organizes learning around activities where students not only master the curriculum but also gain practical professional experience. The use of project-based, problem-oriented, and practical assignments establishes a strong link between academic study and workplace practice—a connection of particular importance for higher education institutions.

The methodology for employing innovative technologies in professional training also relies on a learner-centered approach, which takes into account the individual characteristics, abilities, and professional interests of the students. Innovative technologies facilitate the individualization and differentiation of instruction, ensure

flexibility in the educational process, and boost student motivation. The use of interactive methods, digital resources, and independent study fosters a positive attitude toward professional training and cultivates a readiness for lifelong learning [28, p. 320]. An essential methodological approach to employing innovative technologies in higher education institutions is the integrative approach, which entails combining various academic disciplines, forms of instruction, and teaching methods. Within this framework, innovative technologies foster a holistic understanding of professional practice, enable the integration of general and professional training, and ensure an interdisciplinary learning experience. This approach is particularly effective in professional education, given that modern professional practice demands comprehensive knowledge and skills.

The methodology for applying innovative technologies in the professional training of students relies heavily on information and communication technologies (ICT). Digital educational resources, e-learning courses, multimedia materials, and online platforms expand the scope of the educational process, provide access to up-to-date information, and facilitate the development of students' digital competence. In higher education institutions, the use of ICT allows for the combination of traditional and innovative teaching methods, the organization of distance and blended learning, and the enhancement of the effectiveness of students' independent study.

The methodology for applying innovative technologies in higher education institutions is based on a phased organization of the process, taking into account the specifics of students' professional training, the requirements of the competency-based approach, and the needs of the modern labor market. The primary goal of this methodology is to develop students' professional competencies by combining theoretical training with practical activities through the use of innovative educational technologies.

The first stage of the methodology is the diagnostic-preparatory stage, which involves assessing students' level of learning motivation and their initial knowledge and skills, as well as analyzing their professional interests. At this stage, the educator selects appropriate innovative technologies, considering the characteristics of the student group, the content of the professional training, and the material and technical resources of the higher education institution. Planning the educational process, defining expected learning outcomes, and selecting suitable teaching methods and tools are crucial steps [1, p. 296].

The second stage is the organizational-design stage, during which learning tasks utilizing innovative technologies are developed. At this stage, the educator designs learning situations that simulate real-world professional conditions, determines the forms of work (individual, group, or collective), and selects innovative teaching methods – such as project-based, problem-based, interactive, and digital learning. Particular emphasis is placed on integrating theoretical knowledge with practical tasks. The third stage – the implementation and practical phase – involves the direct integration of innovative technologies into the educational process. Learners carry out practice-oriented tasks, work on educational projects, resolve professional problem

situations, and utilize digital resources, training devices, and simulation programs. In this process, the educator acts not merely as a source of knowledge but also as a consultant, mentor, and coordinator of the learners' educational activities.

The fourth stage of the methodology is the monitoring and assessment phase, which focuses on evaluating the outcomes of the learners' educational activities. Assessment is conducted by considering the development of professional competencies, the ability to apply knowledge in practice, and the level of independence and responsibility. It is appropriate to employ various forms of assessment—such as formative, summative, self-assessment, and peer assessment – aligning with modern approaches to evaluating learning outcomes.

Table 6.5.1

Methodology for Applying Innovative Technologies in the Professional Training of Learners

Stage of the methodology	Content of the educator's activities	Student activities	Innovative technologies
Diagnostic and preparatory	Analysis of students' preparedness and motivation, planning of the educational process	Understanding learning goals and identifying one's own educational needs	Diagnostic methods, digital surveys
Organizational and design	Designing learning tasks and selecting forms and methods of instruction	Preparation for completing educational and practical tasks	Project-based, interactive, and problem-based approaches
Implementation-oriented and practical	Organization of educational activities, consulting, and support	Completion of practical tasks and projects, group work	Project-based learning, ICT, simulation technologies
Monitoring and assessment	Assessment of learning outcomes, analysis of achievements	Self-assessment and peer assessment of results	Competency-based assessment, electronic tests
Reflective-corrective	Analysis of the methodology's effectiveness, adjustment of the educational process	Reflection on the learning experience and identification of ways to improve	Reflexive technologies, portfolio

Source: compiled by the author based on [8, 11, 18 –27, 33–41].

The final stage of the methodology is the reflective-corrective phase, which involves analyzing the effectiveness of the innovative technologies employed, summarizing learning outcomes, and making adjustments to the future organization of the educational process. Reflection enables both students and educators to recognize achievements and challenges, enhance the quality of professional training, and ensure the continuous improvement of the educational process in higher education institutions.

6.6. Practical Implementation of Innovative Technologies in Higher Education Institutions

The practical implementation of innovative technologies in higher education institutions is a crucial stage in modernizing the educational process and enhancing the quality of professional training for students. It is in practice that the effectiveness of the theoretical approaches and methodological solutions outlined in previous sections is demonstrated. In the current landscape, higher education institutions are increasingly adopting innovative teaching technologies to foster professional competencies, develop practical skills, and prepare students for the realities of their future careers.

One of the most common examples of implementing innovative technologies in professional education is the use of project-based learning. Project work enables the integration of theoretical knowledge with practical tasks, ensuring active student engagement in the educational process. For instance, when training specialists in the service sector or food technology, higher education institutions organize projects aimed at developing specific products or services. Students work in groups to analyze professional requirements, plan task stages, perform calculations, and present their results. These projects frequently utilize digital tools, multimedia presentations, and electronic resources, thereby fostering both professional and digital competencies.

Another significant example of the practical application of innovative technologies is the use of information and communication technologies within the educational process of higher education institutions. The use of e-learning courses, online platforms, instructional videos, and virtual laboratories expands the capabilities of traditional instruction and ensures flexibility. In particular, when teaching theoretical subjects, educators utilize digital educational resources to present material in a visual and interactive format. This facilitates better knowledge retention, boosts student engagement, and enables independent study tailored to individual learning paces.

Blended learning is another example of the effective implementation of innovative technologies in vocational and professional education. Combining in-person classes with distance learning optimizes the educational process, ensures the efficient use of instructional time, and maintains learning continuity. In higher education institutions, blended learning is applied to both general education and theoretical professional subjects; students work through part of the material independently using digital resources while practicing practical skills under an instructor's guidance. This approach fosters self-organization skills and a sense of responsibility for one's own learning outcomes.

The implementation of simulation and training technologies is of significant importance to professional education. The use of training simulators and simulation software allows for the modeling of real-world workplace scenarios without posing health risks to students or requiring the use of expensive equipment. For instance, in the training of future energy sector specialists, virtual simulators are used to practice technical operations, enabling the development of professional skills prior to actual hands-on training in the workplace. This approach enhances students' readiness to

perform professional duties and facilitates the safe mastery of complex technological processes.

An effective example of implementing innovative technologies in higher education institutions is the use of the case method in the professional training of students. Analyzing real-world or realistic professional scenarios enables students to develop the ability to make well-founded decisions, analyze professional challenges, and identify optimal solutions. Through case-based learning, students acquire skills in applying theoretical knowledge in practice, working in teams, and substantiating their own positions. This method is particularly effective in training specialists in engineering, IT, and the energy sector.

Another example of the effective implementation of innovative technologies is the organization of dual education programs in higher education institutions. Combining academic study with practical training at a company allows students to gain direct insight into real-world professional conditions and apply their knowledge in practice. Innovative technologies within dual education are used to coordinate the educational process, monitor learning outcomes, and facilitate interaction between the educational institution and the employer. This enhances the quality of professional training and ensures that educational outcomes align with labor market demands.

The practice of implementing innovative technologies in professional education also involves the active use of reflective learning methods. Students engage in analyzing their own learning activities, evaluating the results of completed tasks, and identifying pathways for further professional development. The use of portfolios, electronic achievement logs, and self-assessment fosters a responsible attitude toward learning and develops the capacity for self-directed education.

Thus, practical examples of implementing innovative technologies in higher education institutions demonstrate their high effectiveness in improving the quality of student professional training. The integrated use of project-based, interactive, digital, simulation-based, and dual learning approaches ensures the development of professional competencies and practical skills, while preparing graduates for successful professional careers. The implementation of innovative technologies in the educational process of higher education institutions is a crucial condition for modernizing professional education and training competitive specialists capable of working effectively in the context of modern society.

Reference

1. Бех І.Д. Особистісно орієнтований підхід у вихованні та навчанні : наук.-метод. посіб. Київ : Либідь, 2016. 296 с.

2. Бондар В.І. Педагогіка професійної освіти : підручник. Київ : Освіта, 2018. 408 с.

3. Бурда М.І. Інноваційні технології навчання в сучасній освіті : навч. посіб. Київ : Академвидав, 2017. 312 с.

4. Гончаренко С.У. Український педагогічний словник. Київ : Либідь, 2015. 376 с.

5. Гура О.І. Професійна педагогіка : навч. посіб. Львів : Новий Світ–2000, 2019. 358 с.

6. Дичківська І.М. Інноваційні педагогічні технології : навч. посіб. Київ : Академвидав, 2020. 352 с.

7. Дубасенюк О.А. Професійна освіта : інноваційні підходи та технології : монографія. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2018. 420 с.

8. Жигірь В.І., Онищенко С.В. Упровадження методу кейсів у професійну підготовку майбутніх бакалаврів професійної освіти. *Освіта в умовах сучасних викликів : зб. наук. праць. Матеріали наук.-практ. конф., м. Дніпро-Покровськ, 7 травня 2025 року.* / Упорядн. : О. Олійник, Н. Нємцева, Н. Мацокіна, Л. Кривенко, Н. Гусак, С. Пістряк. Дніпро-Покровськ, 2025. С. 90–93. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/5414 (дата звернення: 16.09.2026).

9. Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 16.09.2026).

10. Закон України «Про професійну (професійно-технічну) освіту» від 10.02.1998 № 103/98-ВР (зі змін.). URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/103/98-вр (дата звернення: 16.09.2026).

11. Кетков Р.О., Онищенко С.В. ESG-орієнтований підхід до формування економічної компетентності бакалаврів теплоенергетичного профілю засобами мобільного навчання. *Форсайт розбудови України : ESG – орієнтири та вектори розвитку в економіці, менеджменті, маркетингу й публічному управлінні : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (28 травня 2026 р.).* Запоріжжя : Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2026. С. 38–42.

12. Козак Л.В. Сучасні освітні технології у професійній підготовці фахівців : навч. посіб. Київ : Кондор, 2019. 280 с.

13. Кремень В.Г. Філософія освіти XXI століття. Київ : Грамота, 2016. 416 с.

14. Лозова В.І. Педагогіка професійного навчання : навч. посіб. Харків : Основа, 2017. 384 с.

15. Мачинська Н.І. Інноваційні процеси в професійній освіті : навч.-метод. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 256 с.

16. Морзе Н.В. Інформаційно-комунікаційні технології в освіті : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 296 с.

17. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2030 року : схвалена Указом Президента України від 25.06.2019 № 344/2019. Київ, 2019.

18. Онищенко С.В. Візуалізація дидактичних елементів як сучасна стратегія навчання. *Теоретико-методичні аспекти технологічної освіти учнівської та студентської молоді засобами естетичної культури та дизайну : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції кафедри теорії і методики технологічної освіти Полтавського національного педагогічного університету імені В.Г. Короленка (24-25 вересня 2020 року)* / За заг. ред. проф. В.П. Титаренко, А.Ю. Цини; Полтав. нац. пед. ун-т імені В.Г. Короленка, каф. теорії і методики технологічної освіти. Полтава : ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2020. С. 117–120. Режим доступу : http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/17182 (дата звернення: 16.09.2026).

19. Онищенко С.В. Використання ІКТ в педагогічній діяльності вчителя-предметника. *Неперервна освіта нового сторіччя : досягнення та перспективи : збірник наукових праць ЗОІППО за матеріалами ІІ Міжнародної науково-практичної конференції (18-25 квітня 2016 р.)*. 2016. № 2 (24). С. 74–78.

20. Онищенко С.В. До проблеми викладання технічних дисциплін при підготовці спеціалістів за напрямом «Професійна освіта. Енергетика». *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки : зб. наук. пр.* Випуск 2. Бердянськ : БДПУ, 2022. С. 304–310. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/855 (дата звернення: 16.09.2026).

21. Онищенко С.В. Застосування ІКТ в викладанні дисциплін циклу машинознавства під час підготовки майбутніх учителів технології. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини* [гол. ред.: М.Т. Мартинюк]. В 1. Умань : ФОП Жовтий О.О., 2015. С. 252–257.

22. Онищенко С.В. Місце дисциплін енергетичного циклу у формуванні професійної компетентності студентів енергетичних спеціальностей. *Development strategiest for modern education and science : Materials of the III International research and practical internet conference (February, 28, 2022) : collection of abstracts*. Zdar nad Sazavou : «DEL a.s.», 2022. P. 27–30. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/items/c05fdf35-ebc5-4808-870f-ddbf52eefcad (дата звернення: 16.09.2026).

23. Онищенко С.В. Психолого-педагогічні особливості впровадження засобів мультимедіа в освітній процес підготовки фахівців енергетичної та технологічної галузей. *Науково-методичні засади підвищення якості підготовки фахівців-педагогів системи професійної та технологічної освіти в умовах сучасності : колективна монографія* [за заг. ред. С.В. Онищенка]. Одеса : Олді+, 2024. Розд. 7. С. 124–139. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/3378 (дата звернення: 16.09.2026).

24. Онищенко С.В. Технологія формування професійної компетентності майбутніх учителів технології. *Науково-дослідні публікації. Серія «Інформатика і техніка»*. 2014. № 7 (11). С. 44–52.

25. Онищенко С. В. Формування професійної компетентності майбутнього вчителя технології засобами інформаційно-комунікативних технологій. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи*. Випуск 31. Київ : Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2012. С. 154–159.

26. Онищенко С.В., Кетков Р.О. Впровадження мобільних додатків для формування економічної компетентності майбутніх фахівців енергетичної галузі. *Молодь і ринок*, 2025. № 3 (235). С. 54–59. DOI : https://doi.org/10.24919/2308-4634.2025.321933 (дата звернення: 16.09.2026)

27. Онищенко С.В., Кетков Р.О. Мобільний простір і мобільно орієнтоване середовище у підготовці бакалаврів з теплоенергетики. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*, 2025. Вип. 84. С. 260–271. DOI : https ://doi.org/10.26565/2074-8922-2025-84-26 (дата звернення: 16.09.2026)

28. Падалка О.С. Педагогічні технології: теорія і практика : навч. посіб. Київ : Освіта України, 2019. 320 с.

29. Савченко О.Я. Дидактика сучасної школи. Київ : Богдан, 2016. 336 с.

30. Сисоєва С.О. Інноваційні педагогічні технології : досвід та перспективи : монографія. Київ : Педагогічна думка, 2018. 428 с.

31. Сухомлинська О.В. Сучасні тенденції розвитку професійної освіти в Україні. *Педагогіка і психологія*. 2020. № 2. С. 5–14.

32. Шевченко Г.П. Методика професійного навчання у ЗВО : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 304 с.

33. Onyshchenko S. Formation of ICT-Competence of the Future Specialist in the Energy Industry in the Conditions of Informatization of Education (Distance Education). *The latest foundations for the development of production, science and education – 2023 : collective monograph.* Nová Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2023. P. 37–55. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/118 (дата звернення: 16.09.2026).

34. Onyshchenko S. Methodological Aspects of Teaching Energy Disciplines in the System of Professional Training of Specialists in Specialty A5 Professional Education (Energy, Electrical Engineering and Electromechanics). *The Latest Foundations for the Development of Production, Science and Education – 2026 : collective monograph.* (Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o. Monograph 4). Nová Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2026. Pp. 242–252.

35. Onyshchenko S. Methodological Principles of Teaching the Discipline "Power Plants" in the System of Professional Training of Future Specialists in the Energy Industry. *Fundamental and Applied Scientific Research : Topical Issues, Achievements and Innovations : Materials of the VII International Research and Practical Internet Conference (March 26–28, 2026) : collection of abstracts* [for the general ed. Ph.D Serhii Onyshchenko]. Zdar nad Sazavou : "DEL c.z.", 2026. Pp 12–14.

36. Onyshchenko S. New Information Technologies in the Conditions of Distance Education. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки : зб. наук. пр.* Випуск 3. Бердянськ : БДПУ, 2022. С. 172–178. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/378 (дата звернення: 16.09.2026).

37. Onyshchenko S. Psychological and Pedagogical Foundations of the Application of Modern Information Technologies in the Educational Process of Future Specialists in the Energy Industry. *European vector of modern education, science and production – 2023 : collective monograph.* Nová Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2023. P. 57–73. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/117 (дата звернення: 16.09.2026).

38. Onyshchenko S. Theoretical Aspects of Implementing Cloud Technologies in the Educational Process of Training Future Energy Industry Specialists. *European Vector of Modern Education, Science and Production – 2026 : collective monograph.* (Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o., Monograph 4). Nová Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2026. Pp. 330–340.

39. Onyshchenko S. Theoretical Basis of the Use of Digital Technologies in Technology Lessons in General Secondary Education Institutions. *Promising Scientific Achievements in Science, Education and Production – 2025 : collective monograph.* (Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o., Monograph 4). Nová

Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2025. P. 183–197. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/5487 (дата звернення: 16.09.2026)

40. Onyshchenko S. Theoretical Foundations of the Formation of Graphic and Graphic and Informational Competences of Students of Energy Specialties on the Basis of Training at a Pedagogical University. *European vector of modern education, science and production – 2024 : collective monograph.* (Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o. Monograph 2). Nová Dubnica : NES Nová Dubnica s.r.o., 2024. P. 162–175. URL : https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/3507 (дата звернення: 16.09.2026)

41. Onyshchenko S. Visual Means in the Educational Activity of Professional Teachers of the Professional Education System. *Scientific and research work in the system of teacher training in natural, technological and computer spheres : materials of VIII international scientific conference (with the international participation), Berdyansk, September 16-17, 2021.* Berdyansk : BSPU, 2021. P. 213–215.

42. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators : DigCompEdu / ed. by Y. Punie. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. 94 p. DOI : https://doi.org/10.2760/159770. URL : https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466 (дата звернення: 16.09.2026).

43. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence : A Modern Approach. 4th ed. Hoboken : Pearson, 2021. 1136 p. URL : https://aima.cs.berkeley.edu (дата звернення: 16.09.2026).

44. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva : World Economic Forum, 2016. 192 p. URL : https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/ (дата звернення: 16.09.2026).

45. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A. Y. C. Digital Twin Driven Prognostics and Health Management. *Journal of Manufacturing Systems*. 2019. Vol. 51. P. 1–12. DOI : https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.02.006 (дата звернення: 16.09.2026).

ANNOTATION

CHAPTER 1. MODERN BASICS OF ECONOMICS, MANAGEMENT AND TOURISM

1.1. Olha Hirna DIGITAL CONTENT IN THE OPERATIONS OF LOGISTICS OPERATORS

This study examines digital content as an important resource for logistics operators. It develops a classification of digital content and proposes a model of its life cycle. The role of digital content in ensuring operational efficiency and shaping the customer experience is identified. The principal digital channels and services used by Ukrainian logistics operators are analyzed. The study establishes the need for a systematic approach to digital content management in logistics operators' activities.

Keywords: digital content, logistics operator, logistics digitalization, customer experience, logistics processes, electronic document management.

1.2. Olha Hirna CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT THROUGH CRM STRATEGY DEVELOPMENT

This article identifies and substantiates priorities for developing a CRM strategy for pet food manufacturers. A survey is used to identify consumer expectations, pet food selection criteria and preferred forms of interaction with manufacturers. The opportunities for aligning the consumer and business partner dimensions of CRM are examined through the case of Kormotech LLC. Improvements in personalisation, customer support, customer data management and digital communications are proposed. A scenario analysis is conducted to estimate potential resource benefits.

Keywords: customer relationship management, consumer expectations, loyalty, personalization, digital communications, partner engagement.

1.3. Kateryna Protsak THE GIG ECONOMY BETWEEN FLEXIBILITY AND VULNERABILITY: IMPACT ON THE RESILIENCE OF UKRAINIAN BUSINESS

The relationship between the spread of new forms of employment and the resilience of Ukrainian enterprises amidst the full-scale war has been investigated. It is substantiated that organizational resilience is shaped not merely by the expansion of flexible forms of personnel engagement, but by the enterprise's managerial capacity to balance their advantages against the associated risks. A hybrid personnel management model is proposed, and practical mechanisms for integrating gig workers are identified.

Keywords: digital transformation, gig employment, digital freelancing, hybrid model.

1.4. Lesia Sai TRANSFORMATION OF THE ADMINISTRATION OF OPERATIONAL ACTIVITIES IN A ROAD TRANSPORT ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF CRISIS CHALLENGES

This article sets out an approach to transforming the administration of a road transport enterprise's operational activities in the face of crisis-related challenges. It clarifies the relationship between management and administration of the enterprise's operational activities. An integrated model has been proposed that encompasses six areas of administration and five principles of administration. The principles of innovative and analytical administration are defined, which involve the use of an integrated information environment for monitoring, forecasting risks and making timely

adjustments to operational processes. Strategic measures have been developed for the financial and operational, technological, human resources and environmental areas.
Keywords: administration of operational activities, road transport enterprise, , single digital system, proactive administration, integrated model.

1.5. Oksana Braslavska THE HISTORY OF WORLD TOURISM DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF LOCAL HISTORY AND TOURISM ACTIVITIES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

The chapter examines the principal stages in the formation and development of world tourism, from ancient travel practices to contemporary tourist mobility. It identifies the social, economic, cultural, technological and educational factors that transformed travel into an independent sphere of activity. The importance of tourism history for organising local history and tourism activities in educational institutions is substantiated. The cognitive, educational, research and competence-building potential of excursions, hikes, expeditions, tourist routes, local history projects and digital forms of cultural heritage presentation is considered.
Keywords: history of tourism, world tourism, local history, tourism activities, educational institutions, cultural heritage.

1.6. Olha Chubka, Anna Lavreniuk FORMATION OF FINANCIAL STABILITY AND PROFITABILITY OF THE SECTORS OF UKRAINE'S ECONOMY UNDER CONDITIONS OF INSTABILITY THROUGH THE PRISM OF FINANCIAL LEVERAGE

A comprehensive comparative analysis of the impact of financial leverage on the profitability of business entities in Ukraine during 2019-2025 was conducted. This period encompasses three unique stages: the pandemic state of the economy, shock adaptation to the conditions of the full-scale invasion, and the formation of a new model of financial stability under martial law. The study focuses on identifying specific sectoral patterns and practically significant differences in the effectiveness of the use of borrowed capital under conditions of economic instability.
Keywords: financial leverage; financial leverage effect; return on equity; interest coverage ratio; capital structure; financial distress; war economy.

1.7. Nataliya Smolinska ADAPTIVE MANAGEMENT OF RESISTANCE TO ORGANIZATIONAL CHANGE BASED ON DATA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The article substantiates an approach to adaptive management of resistance to organizational change as a dynamic process. Data sources and indicators for monitoring employees' attitudes, behavior, and performance are identified to detect early signs of resistance. The capabilities of artificial intelligence in processing heterogeneous data, analyzing textual information, and predicting the development of resistance are examined. A digital model of adaptive resistance management is proposed, integrating data, analytics, AI, and managerial response into a continuous cycle. The main risks associated with the use of data and AI and approaches to their mitigation are identified. The need to maintain a human-centered approach to managerial decision-making is substantiated.

Keywords: resistance to change, organizational change, digital transformation, adaptive management, employee monitoring, artificial intelligence, data analytics, human resource management.

1.8. Oksana Sternyuk TRANSFORMATION OF MARKETPLACE ASSORTMENT POLICY AND ITS IMPACT ON THE MANAGERIAL DECISION-MAKING SYSTEM IN E-COMMERCE

The paper examines the theoretical and practical foundations of product assortment policy in e-commerce. Factors influencing the assortment matrix are classified, and the operational specifics of marketplaces are defined in comparison with traditional retail enterprises and standalone online stores. The impact of digital determinants on assortment structure, product rotation, and the formation of a managerial decision-making system is substantiated.

Keywords: product assortment policy, e-commerce, marketplace, assortment matrix, managerial decisions.

1.9. Oleksandra Tesak SUPPLY CHAIN RESILIENCE MANAGEMENT UNDER LOGISTICS RISKS

The chapter examines approaches to supply chain resilience when transport routes, logistics hubs, or digital systems are disrupted. Risks and response measures are compared using the annual reports of Maersk, DHL Group, and DP World. A decision matrix is proposed to assign responsibilities, specify actions, and monitor outcomes for different types of disruption. The proposed mechanism links risk monitoring, response, recovery assessment, and the revision of contingency plans.

Keywords: supply chain, resilience, logistics risks, management decisions, operational recovery.

1.10. Tetiana Gryniv, Nataliya Hryniv, Iryna Bilyk PSYCHOLOGY OF CONSUMER BEHAVIOUR AND EMOTIONAL MARKETING IN THE TOURISM AND HOSPITALITY SECTOR IN THE CONTEXT OF POST-WAR RECONSTRUCTION

The article examines the theoretical and practical aspects of consumer behavior psychology and the application of emotional marketing in the tourism and hospitality sector in the context of Ukraine's post-war recovery. The influence of emotional, cognitive, and social factors on the formation of consumer needs, motivation for choosing tourism services, perception of tourist destinations, and evaluation of the experiences gained is explored. The role of trust, safety, emotional value, and the authenticity of tourism products in shaping consumer expectations is identified.

The main directions for integrating emotional marketing into the activities of tourism enterprises are substantiated, including the personalization of offers, storytelling, the development of digital communications, enhancement of employees' emotional competence, and the creation of memorable tourism experiences. Emphasis is placed on the need to combine the emotional appeal of marketing communications with information reliability, service quality, and adherence to ethical principles of consumer interaction. The potential of emotional marketing as a tool for strengthening trust, increasing customer loyalty, and developing Ukraine's tourism sector in the context of post-war recovery is highlighted.

Keywords: consumer behavior, consumer psychology, emotional marketing, tourism, hospitality, tourist destination, consumer experience, emotional value, customer loyalty, post-war recovery.

CHAPTER 2. INNOVATIONS IN MODERN MEDICINE AND BIOLOGY

2.1. Andrii Sydorenko, Petro Horlov EGG-LAYING DYNAMICS AND ESTIMATION OF INCUBATION STAGE IN THE GREAT CORMORANT *PHALACROCORAX CARBO*

The study aimed to estimate incubation stage and reconstruct egg-laying dynamics of the Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) on the Obytichna Spit, Ukraine, using egg specific gravity. The mean specific gravity of 149 freshly laid eggs was 1.07746 g cm^{-3}, while the mean daily decrease was 0.006117 ± 0.005 g cm^{-3} day^{-1}, based on 897 measurements from 423 nests. A 30-day reference scale was developed and applied to 1,840 eggs to reconstruct probable laying dates for 2014–2017. The main laying periods were 12–21 March in 2015, 21 March–1 April in 2016, and 22 March–2 April in 2017, with an earlier onset of breeding in some years. Egg-laying timing showed temporal correspondence with pre-breeding temperature conditions, although a causal relationship was not demonstrated. Specific gravity provides a useful retrospective tool for estimating incubation stage and reconstructing breeding phenology when direct observations are incomplete.

Keywords: Great Cormorant; Phalacrocorax carbo; egg laying; breeding phenology; egg specific gravity; incubation stage.

2.2. Yaroslav Terendii, Ihor Prokopenko, Olena Zhukova HYGIENIC PROBLEMS OF SURFACE WATER PROTECTION FROM ANTHROPOGENIC POLLUTION AND ITS USE FOR DRINKING WATER SUPPLY

The article analyzes the hygienic problems of surface water protection from anthropogenic pollution and its use for drinking water supply in Ukraine, using the Desna River basin as a case study. The role of the Desna River in the drinking water supply of Kyiv is shown, and the basin's key asymmetry is revealed, whereby the water quality received by the capital depends on the anthropogenic load in the upper and middle reaches. Based on hydrochemical monitoring, the dynamics of the main pollution indicators are characterized.

Keywords: anthropogenic pollution; transboundary pollution; hydrochemical monitoring; sanitary and epidemiological safety.

CHAPTER 3. INNOVATIVE AND MODERN FOUNDATIONS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY

3.1. Tetiana Diuzhykova, Marianna Barus MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TEACHING ORGANIC CHEMISTRY IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article examines modern educational technologies applied in teaching organic chemistry in higher education institutions. The didactic potential of digital learning management platforms, virtual laboratories and simulators, three-dimensional molecular visualization tools, augmented and virtual reality, blended and flipped learning models, gamification, and guided-inquiry and problem-based learning approaches is analyzed in terms of developing students' subject-specific, research, and

digital competencies. Pedagogical conditions for the effective integration of digital tools into the organic chemistry teaching process, including under wartime distance and blended learning, are substantiated. A differentiated model of technology use by course topic, a cyclical model of lesson organization, a phased implementation roadmap, and a system of effectiveness-monitoring indicators are proposed. Prospects for further implementation of innovative technologies in teaching practice are outlined.

Keywords: organic chemistry, educational technologies, digital tools, virtual laboratories, blended learning, higher education institutions.

3.2. Olena Kochubei INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO INORGANIC CHEMISTRY EDUCATION AS AN INNOVATIVE DIRECTION OF MODERN PEDAGOGY

The monograph substantiates the pedagogical foundations for integrating artificial intelligence into inorganic chemistry education. Generative AI, adaptive support, digital modelling and virtual experimentation are considered as tools for personalisation, formative feedback, research-oriented learning and the development of subject, digital and AI competencies. Particular attention is paid to scientific verification of AI-generated information, academic integrity, data protection, the preservation of authentic laboratory practice and the leading pedagogical role of the teacher. A didactic model is proposed in which AI supports, but does not replace, students' independent reasoning, experimentation and evidence-based conclusions.

Keywords: artificial intelligence, inorganic chemistry, modern pedagogy, chemistry education, digital learning, virtual laboratory, AI literacy, academic integrity.

3.3. Liudmyla Lukaniova THE DEVELOPMENT OF BASIC LIFE SKILLS AS A STRATEGY FOR REMEDIAL WORK WITH CHILDREN WITH INTELLECTUAL DISABILITIES

The relevance of remedial work with children with intellectual disabilities stems from changes in the field of education and social support for children with special educational needs. The number of children requiring specialised support is constantly increasing, and there is an urgent need to create an educational environment where every child can receive support appropriate to their level of development. Intellectual disabilities extend beyond mere problems of cognitive development.

They also affect behavioural responses, the emotional sphere, the capacity for social interaction and autonomy. This necessitates carefully designed educational strategies that take into account the individual characteristics of children and are aimed at developing essential life skills.

Keywords: Intellectual developmental disorders, psychological and educational support, special needs teacher.

3.4. Oleksander Buryanovatiy INNOVATIVE APPROACHES IN TEACHING THE SUBJECT DEFENSE OF UKRAINE

Creation of inter-school centers: Instead of ineffective 45-minute lessons each week, training has been transferred to specialized regional centers of the "Defense of Ukraine". Students from several schools gather once a month for a full day (6–8 hours) for intensive training and practical classes. The updated equipment will allow students to learn life-saving first aid skills, prepare them to use modern technologies in the field

of security, develop critical thinking and resistance to disinformation, and form practical skills for action in emergency situations.

Keywords: regional centers, trainings, technologies, critical thinking, practical skills.

3.5. Svitlana Titarenko PSYCHOLOGICAL READINESS OF A TEACHER FOR PARTNERSHIP INTERACTION WITH PARENTS OF CHILDREN WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS

The article substantiates that the psychological readiness of a teacher for partnership interaction with parents of children with special educational needs is a fundamental condition for the effective implementation of the inclusive education concept and the humanization of the educational space. The essence of this readiness is defined as a complex integrative personality structure encompassing motivational-value, cognitive, emotional-volitional, and behavioral components. It is established that educational interaction in an inclusive environment requires overcoming professional stereotypes, a high level of empathy, mastery of nonviolent communication technologies, communicative flexibility, and tolerance from the teacher. The regulatory and legal framework securing parents as full subjects of the educational process and equal members of the Support Team is systemized. A step-by-step algorithm for building partnership and methods for developing teachers' inclusive competence (trainings, supervisions, case studies) under modern challenges and post-war reconstruction are proposed. The importance of preserving mental health and preventing teacher emotional burnout in the process of psychological and pedagogical support of the "educational institution – family" partnership is emphasized.

Keywords: psychological readiness, teacher, partnership interaction, parents of children with special educational needs, inclusive educational environment, inclusive competence, Support Team, burnout prevention.

3.6. Dmytro Tsys FORMS, CONTENT AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF PHYSICAL CULTURE AND HEALTH-IMPROVING ACTIVITIES WITH STUDENTS DURING EXTRACURRICULAR TIME

The article examines modern forms and content of physical culture and health-improving activities for school students during extracurricular time. Group, mass, individual and combined forms of organizing students' physical activity are characterized. The features of extracurricular clubs, sports sections, mass sports activities and active leisure are considered. Particular attention is paid to the use of information and communication technologies, physical activity challenges, quests and modern fitness technologies. The importance of accessibility, voluntary participation, differentiated physical loads, and consideration of students' age and individual characteristics is substantiated. The proposed approaches are aimed at increasing students' physical activity, developing a sustainable interest in physical education and promoting an active lifestyle.

Keywords: extracurricular activities, club activities, sports section activities, students, physical culture and health-improving activities, physical education, sport, physical activity.

3.7. Iryna Mozul COGNITIVE ACTIVITY OF PRIMARY SCHOOL PUPILS IN THE CONTEMPORARY EDUCATIONAL PROCESS: ESSENCE, STRUCTURE AND CONDITIONS FOR ITS DEVELOPMENT
The article explores the essence, structure, and mechanism of the development of primary school pupils' cognitive activity. The relationship between the concepts of «cognitive activity», «learning and cognitive activity» and «cognitive interest» is clarified. The components and levels of cognitive activity development are characterized. The pedagogical conditions for its development are identified, including ensuring pupils' subject agency, creating an emotionally supportive educational environment, using problem-based and practice-oriented tasks, research, project-based and interactive learning activities.
Keywords: elementary school, educational process, younger schoolchildren, primary school pupils, cognitive activity, cognitive interest, learning and cognitive activity.
3.8. Alina Dmytrenko PATRIOTIC EDUCATION OF SENIOR PRESCHOOL CHILDREN THROUGH UKRAINIAN FOLK ACTIVE GAMES
The study theoretically substantiates and experimentally verifies a system of patriotic education for senior preschool children through Ukrainian folk active games. The pedagogical potential of these games in fostering patriotic feelings, national identity, and respect for Ukrainian cultural heritage is revealed. Criteria and levels of patriotic education among preschool children are identified. The proposed system combines the systematic use of folk active games, the creation of a nationally oriented educational environment, and cooperation with parents. The effectiveness of the developed system is experimentally confirmed.
Keywords: patriotic education; senior preschool children; Ukrainian folk active games; national identity; educational environment.
CHAPTER 4. MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF LINGUISTICS AND PHILOLOGY
4.1. Mariia Abysova, Halyna Bilokon, Tetiana Poda SEMANTIC RELEVANCE AS A DIAGNOSTIC CRITERION OF RESEMANTICIZATION
The study compares theoretically heterogeneous uses of the concept of resemanticization in structural semiotics, interpretive semantics, studies of grammatical gender, and discourse semantics. It formulates and operationalises an analytical hypothesis concerning semantic relevance as a diagnostic criterion under three conditions of applicability: the linguistic nature of the object, its analytical continuity, and the dependence of the new state on the preceding semantic configuration. The analysis demonstrates the need to distinguish between the emergence of a new meaning and a demonstrated functional consequence of its integration into semantic organisation, and outlines a programme for further testing.
Keywords: resemanticization, semantic change, semantic relevance, reinterpretation, polysemy.

CHAPTER 5. IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF PHYSICO-MATHEMATICAL AND TECHNICAL DIRECTIONS

5.1. Nataliia Dushechkina MODERN APPROACHES TO THE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF FUNCTIONAL INORGANIC MATERIALS

The chapter summarizes modern approaches to the preparation of functional inorganic materials with controlled phase composition, particle size, morphology, defect structure, and physicochemical properties. Conventional solid-state processing, sol-gel chemistry, hydrothermal and solvothermal synthesis, mechanochemistry, microwave-assisted processing, combustion/SHS routes, and molten-salt synthesis are considered. Particular attention is paid to the relationship between precursor chemistry, heat and mass transfer, nucleation, crystal growth, phase selectivity, and the resulting functional response. The analytical methods required to establish the synthesis–structure–property relationship are outlined, and current trends toward lower processing temperatures, shorter reaction times, reduced solvent and energy consumption, rational precursor selection, digital planning, and improved reproducibility are discussed.

Keywords: inorganic synthesis, functional materials, sol-gel method, hydrothermal synthesis, mechanochemistry, metal oxides.

5.2. Svitlana Sovhira METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF MODERN SCIENTIFIC RESEARCH IN CHEMISTRY

The chapter systematizes the methodological foundations of contemporary scientific research in chemistry, from problem formulation and hypothesis development to experimental design, data analysis, validation, and scientific communication. Particular attention is paid to the logic of chemical experimentation, control of variables, calibration, metrological traceability, measurement uncertainty, method validation, reproducibility, and transparent reporting. The role of design of experiments, digital data management, FAIR principles, automation, machine learning, self-driving laboratories, open science, and research integrity is discussed as part of an integrated research workflow. The methodological approach is presented as an iterative process in which chemical knowledge, quantitative evidence, quality assurance, and critical interpretation jointly determine the reliability and scientific value of conclusions.

Keywords: scientific research, chemical experiment, validation, reproducibility, statistical analysis.

5.3. Olena Vorobyova, Olena Rozhko SOME FEATURES OF THE OPERATION OF ANALOG-DIGITAL CONVERTERS (ADC) IN THE COMPOSITION DIGITAL MASS METERS (GMM)

The ADCs analyzed in this paper are studied in relation to the problem of precision determination of the signal level of strain gauge sensors. The aim of the research is to develop high-precision ADCs using weighting functions for electronic digital mass meter (DMM).

Keywords: weight functions, load cell, analog-to-digital converter, precision measurements.

5.4. Olena Herasymchuk, Larysa Shevchuk, Lyudmyla Vasilieva IMPROVING THE SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF NATURAL-TECHNOGENIC SYSTEMS BASED ON PARAMETRIC AND ENGINEERING-TECHNOLOGICAL APPROACHES

The article substantiates scientific approaches to assessing and ensuring the ecological safety of natural-technogenic systems under contemporary natural, technological, climatic, and war-related threats. A parametric approach to system assessment is proposed, taking into account threats, vulnerability, risk, and critical parameters. The relationship between assessment results and the selection of management, nature-based, and engineering-technological solutions is substantiated. A conceptual-parametric model for ensuring ecological safety is developed, incorporating feedback through monitoring and adjustment of decisions. Prospects for further mathematical formalization of the proposed approach are identified.

Keywords: ecological safety; natural-technogenic systems; parametric assessment; ecological risk; engineering-technological solutions; monitoring.

CHAPTER 6. Serhii Onyshchenko INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF MODERNIZATION OF VOCATIONAL EDUCATION: THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ASPECTS

This section examines the theoretical, methodological, and practical aspects of utilizing innovative technologies within the vocational education system. It substantiates the role of innovative technologies as a crucial factor in modernizing the educational process and enhancing its quality, effectiveness, and alignment with contemporary labor market demands. The section clarifies the concept of "innovative teaching technologies," systematizes key approaches to their classification, and outlines the specifics of their application in the vocational training of learners.

It analyzes modern forms, methods, and tools for organizing instruction through innovative technologies, highlighting the potential of digital, interactive, project-based, problem-oriented, and other technologies in developing professional and general competencies. The section identifies the pedagogical conditions essential for the effective implementation of innovative technologies in the educational process, including educator readiness, adequate material-technical and digital resources, methodological support, learner motivation, and a practical orientation of instruction.

Methodological approaches to integrating innovative technologies into vocational training are substantiated, taking into account the nature of professional activities and educational needs. Practical experience regarding the use of innovative technologies in vocational education is presented, and their potential for improving the quality of skilled worker training and fostering professional mobility is identified. Finally, the section outlines prospects for the further development of an innovative educational environment and the expanded application of modern technologies in vocational education.

Keywords: innovative technologies, vocational education, modernization of education, educational process, digital technologies, pedagogical conditions, professional training, learners, innovative teaching methods, competencies.

ABOUT THE AUTHORS

CHAPTER 1. MODERN BASICS OF ECONOMICS, MANAGEMENT AND TOURISM

1.1., 1.2. Olha Hirna – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of Organizations, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

1.3. Kateryna Protsak – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Organization Management, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

1.4. Lesia Sai – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and International Business, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine

1.5. Oksana Braslavska – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Geography and Tourism, Bogdan Khmelnitsky Melitopol State Pedagogical University; Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian University, Ukraine

1.6. Olha Chubka – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Finance, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Anna Lavreniuk – Master's Degree in Finance, Banking, Insurance and the Stock Market, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

1.7. Nataliya Smolinska – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of Organizations, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

1.8. Oksana Sternyuk – Senior Lecturer, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

1.9. Oleksandra Tesak – PhD in Economics, Associate Professor, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine

1.10. Tetiana Gryniv – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Marketing and Logistics, National University “Lviv Politechnic”, Ukraine

Nataliya Hryniv – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Marketing and Logistics, National University “Lviv Politechnic”, Ukraine

Iryna Bilyk – PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Marketing and Logistics, National University “Lviv Politechnic”, Ukraine

CHAPTER 2. INNOVATIONS IN MODERN MEDICINE AND BIOLOGY

2.1. Andrii Sydorenko – Senior Lecturer of the Department of Chemical and Biological Education and Human Health, Bogdan Khmelnitsky Melitopol State Pedagogical University, Ukraine

Petro Horlov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Education and Human Health, Bogdan Khmelnitsky Melitopol State Pedagogical University, Ukraine

2.2. Yaroslav Terendii – Chief Engineer, LLC "RBK "Spetsmontazhbud", Ukraine

Ihor Prokopenko – 3rd-year PhD Student, Specialty "Civil Engineering and Construction", Educational-Professional Program "Water Supply and Water Disposal", Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine
Olena Zhukova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine
CHAPTER 3. INNOVATIVE AND MODERN FOUNDATIONS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY
3.1. Tetiana Diuzhykova – Candidate of Pedagogical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical and Biological Education and Human Health, Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
Marianna Barus – Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical-Biological Education and Human Health, Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
3.2. Olena Kochubei – Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
3.3. Liudmyla Lukaniova – Senior lecturer of the Department of Special and Inclusive Education, Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine
3.4. Oleksander Buryanovatiy – Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Sports Games and Mass Sports, Faculty of Sports and Physical Culture, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, Kropyvnytskyi, Ukraine
3.5. Svitlana Titarenko – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine
3.6. Dmytro Tsys – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine
3.7. Iryna Mozul – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Primary Education, Educational and Scientific Institute of Pedagogy and Psychology Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine
3.8. Alina Dmytrenko – Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Theory and Methodology of Preschool Education, Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine
CHAPTER 4. MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF LINGUISTICS AND PHILOLOGY
4.1. Mariia Abysova – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Political Science, Sociology and Philosophy, National University “Kyiv Aviation Institute”, Ukraine
Halyna Bilokon – Vice-Dean of the Faculty of Humanities and Arts, National University “Kyiv Aviation Institute”, Ukraine
Tetiana Poda – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Teacher of English, Gymnasium of Bilyn of Kovel City Council, Volyn Region, Ukraine

CHAPTER 5. IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF PHYSICO-MATHEMATICAL AND TECHNICAL DIRECTIONS

5.1. Nataliia Dushechkina – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology and Chemistry, Uman National University, Uman, Ukraine

5.2. Svitlana Sovhira – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biology and Chemistry, Uman National University, Uman, Ukraine

5.3. Olena Vorobyova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Head of the AKIT Department, State University of Intellectual Technologies and Communication, Ukraine

Olena Rozhko – Senior Lecturer, Odessa National Maritime University, Ukraine

5.4. Olena Herasymchuk – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

Larysa Shevchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

Lyudmyla Vasilieva – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

CHAPTER 6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF MODERNIZATION OF VOCATIONAL EDUCATION: THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ASPECTS

6.1., 6.2., 6.3., 6.4., 6.5., 6.6. Serhii Onyshchenko – PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Professional Education and Technologies, Berdyansk State Pedagogical University, Ukraine

Scientific Edition

Series of monographs Slovak Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o.

Monograph 4

Development of Scientific and Educational System: European Vector – 2026

Collection of abstracts

The authors are responsible for the selection, accuracy of the facts, quotations and other information

---

Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o.
M.Gorkého 820/27, P.O.BOX
018 51 Nová Dubnica, Slovenská Republika
tel. +421-42-4401 209

NES NOVÁ DUBNICA S.R.O.

ISBN 988 – 963 – 8454 – 15 – 6 - 6S

Publishing House NES Nová Dubnica s.r.o.
M.Gorkého 820/27, P.O.BOX
018 51 Nová Dubnica, Slovenská Republika
tel. +421-42-4401 209