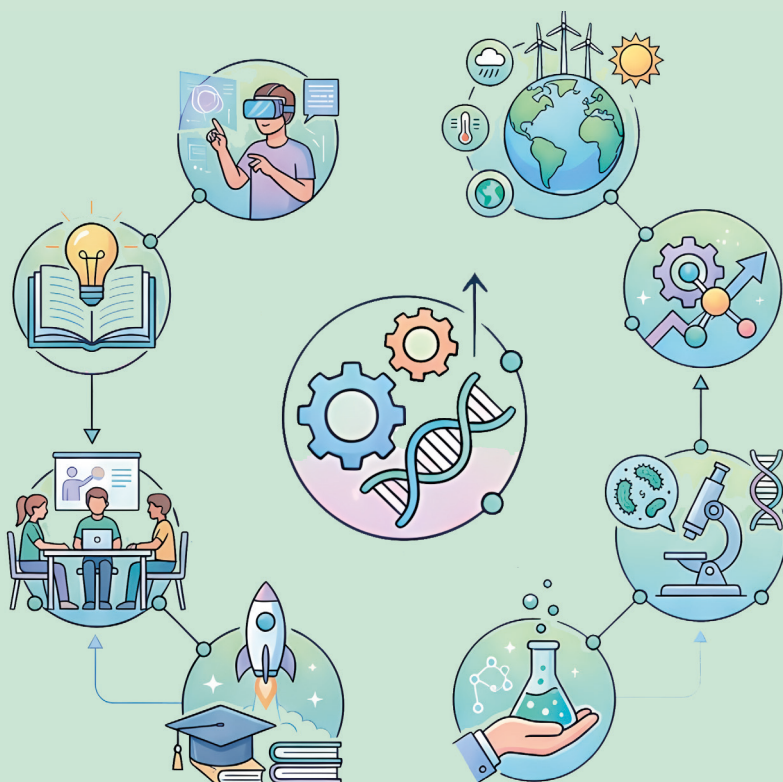




INTELLECTUAL HORIZONS: AN INTERDISCIPLINARY SYNTHESIS OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE AND EDUCATIONAL INNOVATIONS

COLLECTIVE MONOGRAPH

INTELLECTUAL HORIZONS:
AN INTERDISCIPLINARY SYNTHESIS
OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE
AND EDUCATIONAL INNOVATIONS

Compiled by
VIKTOR SHPAK

Chairman of the Editorial Board
STANISLAV TABACHNIKOV

GS Publishing Services
Sherman Oaks
2026

The collective monograph is a scientific and practical publication that contains scientific articles by doctors and candidates of sciences, doctors of philosophy and art, graduate students, students, researchers and practitioners from European and other countries. The articles contain research that reflects current processes and trends in world science.

Text Copyright © 2026 by the Publisher «GS Publishing Services» and authors.

Illustrations © 2026 by the Publisher «GS Publishing Services» and authors.

Cover design © 2026 Publisher «GS Publishing Services».

Authors: Oksana Antolik, Olena Berezinska, Oleksii Bobko, Halyna Boikivska, Anastasia Boychuk, Alla Cherep, Oleksandr Cherep, Larysa Duda, Svitlana Faizulina, Dmytro Fedenko, Anatoliy Konokh, Andriy Konokh, Olena Konokh, Nina Korbozerova, Petro Krul, Oleksandr Lesko, Valentyna Moyseyenko, Anton Nosov, Oleksandr Novoseltsev, Andrii Nykula, Viktoriia Ogloblina, Lyudmila Oleynikova, Oleksandr Prytula, Natalia Punchenko, Oleksandr Romanyuk, Iryna Satsyuk, Anton Shamanskyi, Ivan Shcherbyna, Tetiana Skliaruk, Oleksii Stakhov, Dmytro Svetlyi, Ilona Tkachuk, Vira Tymoshenko, Valentyna Voronkova.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, or stored in a database or search engine without the prior written permission of the publisher. The authors are responsible for the content and reliability of their articles. Citation or other use of the monograph is possible only with reference to the publication.

Publisher «GS Publishing Services»

15137 Magnolia Blvd, # D,
Sherman Oaks, CA 91403, USA.

ISBN 979-8-9935428-7-4

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029

Reviewers:

Hanna Kozhyna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Psychiatry, Narcology, Medical Psychology, and Social Work at Kharkiv National Medical University.

Volodymyr Verbytskyi, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Director of the National Ecological and Naturalistic Center for Student Youth of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Scientific editors-reviewers:

S. Bobrovnyk, Yu. Bondar, A. Cherep, P. Glukhovskiy, P. Hovorov,
Yu. Kuznietsov, V. Lazurenko, V. Moyseyenko, L. Omelianchyk, Zh. Virna

The monograph is recommended for publication by the Academic Council of the Institute of Adult Education of the PO «National Academy of Sciences of Higher Education of Ukraine» (Protocol No. 6 dated September 23, 2026).

Intellectual Horizons: an Interdisciplinary Synthesis of Scientific Knowledge and Educational Innovations : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2026. 222 p.

Available at: DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029

CONTENT

COMPUTER SCIENCE

Oleksii BOBKO

METHODS OF CONTAINERIZING THE RENDERING OF THREE-DIMENSIONAL GRAPHIC IMAGES	6
--	---

Oleksandr ROMANYUK

Oleksii STAKHOV

METHODS FOR ACCELERATING THE RENDERING OF THREE-DIMENSIONAL SCENES	14
---	----

CULTUROLOGY

КРУЛЬ Петро Франкович,

ДУДА Лариса Ігорівна

ЦЕХОВА МУЗИКА МАГНАТСЬКИХ ТА КОЗАЦЬКО- СТАРШИНСЬКИХ МАЄТКІВ XVII – ПОЧАТКУ XIX СТОЛІТЬ	44
---	----

ECONOMIC SCIENCES

БОЙКІВСЬКА Галина Миколаївна

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗВИТКУ ТАЛАНТІВ В ОРГАНІЗАЦІЇ: ВІД УПРАВЛІННЯ ТАЛАНТАМИ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКОСИСТЕМНОЇ МОДЕЛІ	54
---	----

ВОРОНКОВА Валентина Григорівна,

НІКІТЕНКО Віталіна Олександрівна,

ОГЛОБЛІНА Вікторія Олександрівна,

ПУНЧЕНКО Наталія Олегівна

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ТУРБУЛЕНТНОСТІ: ВІД INDUSTRY 4.0 ДО MANAGEMENT 5.0.....	61
--	----

Oleksandr LESKO,

Anton SHAMANSKYI

INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR MANUFACTURING PROCESSES	76
--	----

СКЛЯРУК Тетяна Василівна

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ, ЦИФРОВИХ І СОЦІАЛЬНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ HR-ФАХІВЦІВ	86
---	----

ФЕДЕНКО Дмитро Олександрович

ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ КОНФІГУРАТОРІВ ПРИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ІНТЕГРОВАНОГО ЗВІТУ ТА ЗВІТУ ЗІ СТАЛОСТІ.....	98
--	----

*ЧЕРЕП Алла Василівна,
ОЛЕЙНІКОВА Людмила Григорівна,
НОСОВ Антон Дмитрович,
ЩЕРБИНА Іван Сергійович*

СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЕКОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ	121
--	-----

*Череп Олександр Григорович,
ФАЙЗУЛІНА Світлана Айгалівна,
СВІТЛИЙ Дмитро Олександрович,
БОЙЧУК Анастасія Сергіївна*

ДОСВІД КРАЇН ЄС ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	131
--	-----

*ЧЕРЕП Алла Василівна,
АНТОЛІК Оксана Миколаївна*

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ ВЕЛИКОБРИТАНІЇ ТА УКРАЇНИ: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВИКЛИКИ	138
---	-----

LINGUISTICS

БЕРЕЗІНСЬКА Олена Володимирівна

ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА KEYС-МЕТОД У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОЇ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ (НА ПРИКЛАДІ АНАЛІЗУ РИНКУ <i>BLEISURE-ТУРИЗМУ</i>)	145
--	-----

КОРБОЗЕРОВА Ніна Миколаївна

МОВНА СИТУАЦІЯ ПІРЕНЕЇВ ДОРИМСЬКОГО ПЕРІОДУ	162
---	-----

MEDICINE

*МОЙСЕЄНКО Валентина Олексіївна,
НИКУЛА Андрій Тарасович*

РОЛЬ ЛАКТОБАКТЕРІЙ У ПІДТРИМЦІ ГОМЕОСТАЗУ ОРГАНІЗМУ	167
--	-----

PEDAGOGICAL SCIENCES

ТКАЧУК Ілона Львівна

КОГНІТИВНА МАТРИЦЯ СПРИЙНЯТТЯ: ЧОМУ
КЛАСИЧНИЙ РИСУНОК І ЖИВОПИС ЗАЛИШАЮТЬСЯ
НЕЗАМІННИМИ В ЕПОХУ DIGITAL ART 171

*ПРИТУЛА Олександр Леонтійович,
КОНОХ Анатолій Петрович,
КОНОХ Олена Євгеніївна,
КОНОХ Андрій Анатолійович*

ФІЛОСОФСЬКО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ
КОЗАЦЬКОЇ СПАДЩИНИ У ФОРМУВАННІ ГОТОВНОСТІ
МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ І СПОРТУ
ДО ЗАХИСТУ БАТЬКІВЩИНИ 176

POLITICAL AND LEGAL SCIENCES

Vira TYMOSHENKO

SOCIO-HUMANITARIAN FOUNDATIONS OF FORENSIC
IDENTIFICATION OF INDIVIDUALS BASED ON BIOMETRIC DATA 190

TECHNICAL SCIENCES

Oleksandr NOVOSELTSEV

RELIEF TEXTURING METHODS BASED ON
REPRESENTING FREE SPACE WITH GEOMETRIC
PRIMITIVES IN TWO-DIMENSIONAL TEXTURES 207

*Oleksandr ROMANYUK,
Iryna SATSYUK*

ANALYSIS OF DEVELOPMENT DIRECTIONS
OF VIDEO CARD ARCHITECTURES 214

Computer science



Oleksii BOBKO,

Postgraduate Student,

Department of Software Engineering,

Vinnitsia National Technical University

ORCID iD: 0009-0000-1753-279X

Ukraine

METHODS OF CONTAINERIZING THE RENDERING OF THREE-DIMENSIONAL GRAPHIC IMAGES

Modern systems for generating three-dimensional graphic images are characterized by a simultaneous increase in scene complexity, photorealism requirements, and the need to reduce frame generation time. Rendering is increasingly performed not on a single workstation but in a distributed environment that combines local graphics processors, server nodes, and cloud resources. Under these conditions, not only the choice of a ray-tracing algorithm is important, but also the method of deploying the software environment, managing dependencies, providing GPU access, and scaling computations. Rendering containerization is one practical means of addressing these tasks.

Rendering containerization can be understood as the organization of the image-generation process in which rendering software components, libraries, shaders, auxiliary utilities, and part of the runtime environment are packaged into an isolated container image. Unlike full virtualization, a container does not require a separate guest operating system for each instance; therefore, it introduces lower overhead and starts faster. This is important for computer graphics tasks because the number of rendering nodes can be scaled within a single frame, a sequence of frames, or a batch of independent tasks.

A distinctive feature of graphics computing is that a container must obtain controlled access to a hardware accelerator. NVIDIA Container Toolkit provides a mechanism for attaching GPUs to OCI-compatible containers and makes it possible to specify which graphics devices and driver capabilities are visible inside the container¹. This provides a basis for reproducible deployment of

1 NVIDIA. NVIDIA Container Toolkit: Architecture Overview. 2026. Official NVIDIA documentation. Accessed: 21.09.2026.

CUDA-, Vulkan-, and other GPU-dependent components without the need to include the complete driver in every container image.

Studies devoted to the parallel generation of three-dimensional scenes emphasize that rendering efficiency is determined not only by the aggregate performance of computing resources but also by the method of task decomposition and workload distribution among executors². Containerization does not replace parallelization algorithms; rather, it creates a standardized software layer on which these algorithms can be implemented for heterogeneous nodes. It is therefore appropriate to regard containerization as an infrastructural method for organizing distributed rendering.

1. Architectural Principles of Containerized Rendering

A typical architecture of a containerized rendering system includes a control component, scene and resource storage, a set of containerized executors, and a mechanism for aggregating results. The control component accepts jobs, determines available resources, and forms units of work. An executor receives a scene description or a reference to shared storage, camera parameters, a frame range, or an image region, and then starts rendering inside the container. The result may be a completed frame, a tile, a set of samples, or an intermediate buffer.

To formalize the distribution, let us introduce a set of containers $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ and a set of tasks $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. Each task is associated with an estimate of computational complexity w_i , while container c_j has available performance p_j . The basic objective of scheduling is then to minimize the maximum container completion time:

$$T = \max_j \left(\frac{\sum_{i \in R_j} w_i}{p_j} \right)$$

where R_j is the set of tasks assigned to the j -th container. In a real system, w_i is not constant: it depends on geometric complexity, the number of fragments, shader cost, transparency, reflections, shadows, ray tracing, and other effects. This is consistent with the results of a study on balanced renderer loading, in which the nonuniform computational complexity of different frame regions was identified as one of the key causes of imbalance³.

2 Romanyuk O., Bobko O., Romanyuk O. Features of parallelizing the computing process of forming three-dimensional graphic scenes. European Science. 2024. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-32-00-044>

3 Romanyuk O. N., Bobko O. L. Method of balanced renderer loading in the formation of three-dimensional graphic scenes. Scientific Papers of Donetsk National Technical University. Series: Informatics, Cybernetics and Computer Engineering. 2026. No. 1 (42). P. 119-126. DOI: 10.31474/1996-1588-2026-1-42-119-126.

The container layer adds several components to this model: container startup time t_{start} , resource preparation time t_{data} , rendering computation time t_{render} , and result transfer time t_{out} . For an individual task, the total time can be represented as

$$t_{task} = t_{start} + t_{data} + t_{render} + t_{out}$$

If tasks are too fine-grained, the t_{start} and t_{data} overheads may become comparable to t_{render} . If tasks are too large, balancing flexibility decreases. Therefore, containerization requires the granularity of graphics decomposition to be coordinated with the container life cycle.

2. Main Methods of Rendering Containerization

Depending on which part of the image-generation process is isolated and scaled, several containerization methods can be distinguished. They differ in the unit of work distribution, memory and network requirements, and the mechanism used to assemble the result.

Table 1

Comparison of rendering containerization methods

Source: Authors

Method	Unit of work	Advantage	Limitation	Recommended application
Frame-based	frame / group of frames	minimal inter-action	nonuniform frame times	animation, offline rendering
Tile-based	frame region	flexible balancing	tile composition required	high resolutions, expensive shaders
Sample-based	samples / passes	scales ray tracing well	large volume of intermediate data	path tracing, accumulation
Pipeline	pipeline stage	node specialization	complex synchronization	hybrid systems
Service-based	rendering service	isolation and re-use	network overhead	cloud, interactive services

2.1. Frame-Based Containerization

The frame-based method is the simplest: each container receives one frame or a sequence of frames. The scene, materials, and rendering configuration remain the same, while primarily the time and camera parameters change. This scheme is well suited to offline animation rendering because there is almost no synchronization between containers. After computation is completed, frames

are sent directly to the result storage. A disadvantage is that the complexity of adjacent frames may differ substantially. A container assigned a complex frame becomes the “long tail” of the batch while other GPUs remain idle.

2.2. Spatial or Tile-Based Containerization

With the tile-based method, a frame is divided into rectangular regions. Each container renders one or more tiles, and the final image is produced by composing them. This approach is particularly useful for high resolutions and nonuniform fragment-processing costs. Tile size determines the trade-off between balancing accuracy and overhead. Small tiles provide better workload equalization but increase the number of tasks, input/output operations, and scheduler messages. Large tiles reduce infrastructure overhead but decrease adaptability.

2.3. Sample- and Pass-Based Containerization

For ray tracing and stochastic methods, an image can be generated as the sum of independent or partially independent samples. Containers are assigned to different sample ranges, layers, lighting passes, or ray sets. The results are accumulated after computation. The method scales well when the composition operation is less expensive than the tracing itself. At the same time, deterministic control of random-number generators and compatibility of intermediate buffer formats must be ensured.

2.4. Pipeline Containerization

The pipeline method places individual stages in specialized containers: geometry preparation, construction of acceleration structures, rasterization, tracing, denoising, and post-processing. Its advantage is the ability to use different types of resources. For example, CPU nodes can prepare data, GPU nodes can perform the main rendering, and dedicated accelerators can perform neural-network denoising. However, transferring large buffers between stages can negate performance gain; therefore, pipeline containerization should be used when stage boundaries involve relatively compact data or when shared high-speed storage is available.

2.5. Service-Based Containerization

In the service-based approach, the renderer operates as a long-running containerized service. The client sends scene parameters or an image-generation request through an API. This approach is convenient for remote visualization systems, CAD/CAE, e-commerce, preview generation, and interactive cloud applications. Unlike a one-time container launch, a long-running service can

retain warmed caches, loaded shaders, and part of the scene in video memory, thereby reducing t_{start} and t_{data} .

3. GPU Access and Resource Management

A key distinction between containerizing graphics tasks and conventional microservices is the need for direct GPU use. A container does not emulate a graphics processor; instead, it receives access to specified host devices. NVIDIA Container Toolkit includes runtime components, a hook, and the `libnvidia-container` library, which configures the container and attaches the required GPUs and driver capabilities⁴. This approach allows the driver to remain on the host system while the versions of user-space libraries and the renderer itself are fixed in the image.

From a scheduling perspective, it is appropriate to distinguish between exclusive and shared GPU use. In the exclusive model, one container receives the entire device for the duration of execution. This simplifies performance prediction and reduces mutual interference between tasks. In the shared model, several containers compete for compute units, memory, and bandwidth. This scheme increases GPU utilization for small tasks but makes rendering time less stable.

Video-memory capacity is critical for rendering. If geometry, textures, BVH structures, and intermediate buffers exceed the available memory, additional transfers are required or the task cannot be executed. Therefore, the scheduler must take into account not only computational performance p_j but also resource constraints: $VRAM_j \geq VRAM_i$, supported graphics APIs, driver version, and the set of hardware capabilities.

Studies of high-performance computer graphics system architecture demonstrate the need to coordinate algorithmic and hardware resources and to select an appropriate structure for parallel execution⁵. Containerization additionally provides environmental reproducibility: the same image can be deployed on different nodes provided that the driver and GPU are compatible. This reduces the number of errors associated with different versions of libraries, shader compilers, and auxiliary components.

4 NVIDIA. NVIDIA Container Toolkit: Architecture Overview. 2026. Official NVIDIA documentation. Accessed: 21.09.2026.

5 Romanyuk O., Bobko O., Romanyuk O. Features of parallelizing the computing process of forming three-dimensional graphic scenes. European Science. 2024. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-32-00-044>; Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research: mono-graph. Kharkiv, 2026. P. 255-269.

4. Load Balancing in a Containerized Environment

Static distribution, in which each container is assigned the same number of frames or tiles in advance, is effective only when task complexities are similar. In three-dimensional graphics, this condition is often not satisfied. Even equally sized tiles may differ in the number of visible polygons, overlaps, transparent surfaces, light sources, and complex materials. Therefore, a dynamic task queue is appropriate for containerized rendering.

After completing the current tile, a container requests the next queue item. This scheme automatically directs more work to faster GPUs. It can be improved by predictive estimation of tile cost based on statistics from previous frames. Bobko and Romanyuk proposed considering the history of computational complexity and renderer characteristics to reduce imbalance⁶. In a containerized implementation, the prediction can be used by the orchestrator when selecting not only the executor but also the size of the next portion of work.

The imbalance coefficient can be used to evaluate efficiency:

$$K_{imb} = \frac{T_{max} - T_{avg}}{T_{avg}}$$

where T_{max} is the maximum container busy time and T_{avg} is the average time. A decrease in K_{imb} indicates more uniform resource utilization. However, optimizing this metric alone is insufficient: excessive task fragmentation may reduce imbalance while increasing the share of infrastructure overhead. Therefore, a practical criterion should simultaneously account for rendering time, GPU utilization, network overhead, and container startup time.

5. Methods for Storing and Transferring Graphics Data

A container image should not contain large sets of scenes and textures if they change independently of the software code. It is more rational to separate the immutable runtime environment from the input data. Scenes can be mounted as volumes, retrieved from object storage, or cached locally on a node. This reduces image size and accelerates deployment.

For a sequence of frames, a two-level caching scheme is appropriate. At the first level, the container or node stores frequently used shaders, textures, and geometry. At the second level, shared storage contains the complete set of re-

6 Romanyuk O. N., Bobko O. L. Method of balanced renderer loading in the formation of three-dimensional graphic scenes. Scientific Papers of Donetsk National Technical University. Series: Informatics, Cybernetics and Computer Engineering. 2026. No. 1 (42). P. 119-126. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2026-1-42-119-126>.

sources. If adjacent frames are processed on the same node, a significant part of the scene does not need to be loaded again. For tile-based rendering, it is particularly important to avoid a situation in which every short-lived container copies the entire scene again.

The network component becomes critical during distributed rendering of large scenes. If the amount of input data is denoted by D_{in} , output data by D_{out} , and effective network bandwidth by B , the lower-bound estimate of transfer time is $(D_{in}+D_{out})/B$, excluding latency and contention. For complex scenes, this time may exceed the benefit of adding another GPU. Therefore, containerization should be combined with locality-aware scheduling, in which a task is directed, whenever possible, to a node where the required resources are already cached.

6. Reproducibility, Isolation, and Scaling

An important advantage of containerization is the reproducibility of the software environment. The renderer version, libraries, configuration files, and auxiliary programs are fixed in the image. This simplifies the repetition of experiments, comparison of algorithms, and deployment of the same software version on several computing nodes. For scientific research, this property is particularly valuable because it makes it possible to separate algorithmic changes from incidental changes in the software environment.

Container isolation also makes it possible to run different renderer versions in parallel. For example, a reference implementation and an experimental modification can be executed on the same cluster without dependency conflicts. The results should nevertheless be compared to identical or normalized hardware configurations because the container itself does not eliminate differences between GPUs.

Horizontal scaling is implemented by adding executor containers. However, linear speedup can be expected only when the share of independent work is sufficiently large and the network, storage, and composition stage do not become bottlenecks. In the general case, speedup $S(m)=T_1/T_m$ is limited by sequential operations and orchestration overhead. Therefore, increasing the number of containers should be accompanied by measuring efficiency $E=S(m)/m$.

Containerization is well suited to heterogeneous environments but requires resource classes to be described. The scheduler must know whether a node supports the required API, memory capacity, and hardware ray-tracing features. For different GPU classes, it is advisable to maintain a performance profile that can

be refined using the results of completed tasks. Such a profile makes it possible to move from the formal “one tile – one container” distribution to performance-weighted scheduling.

7. Practical Rendering Containerization Scheme

Practical implementation should be based on the principle of an immutable image renderer and an external job description. The image contains the executable module, the required user-space GPU libraries, base-configuration shaders, and an executor agent. At startup, the container receives a task identifier, rendering parameters, a storage address, and an available GPU. Large scene resources are mounted or downloaded separately.

The workflow can be organized as follows: 1) analyze the scene and form a set of tasks; 2) estimate their complexity; 3) determine the available GPU nodes; 4) launch or reuse containers; 5) dynamically assign frames, tiles, or samples; 6) collect timing and utilization metrics; 7) compose the results; 8) update the historical complexity model. This scheme directly integrates the container infrastructure with renderer load-balancing methods.

For interactive applications, it is appropriate to use a pool of pre-started containers. This minimizes first-frame latency. For batch offline rendering, by contrast, containers can be created on demand and terminated after a group of frames has been processed. For tile-based rendering, a hybrid approach is effective: a container remains alive for longer than a single tile and sequentially receives tasks from the queue while retaining a local scene cache.

Thus, a container should be regarded not as the smallest unit of parallelism but as an isolated executor within which the GPU performs massively parallel operations, while the orchestrator distributes larger units of work among executors. This avoids excessive container-creation overhead while preserving the flexibility of the distributed system.

Conclusions

Containerization of three-dimensional graphics rendering is a method for organizing a software and computing environment that provides isolation of rendering nodes, reproducibility of dependencies, controlled GPU access, and horizontal scaling. Its efficiency is determined not only by container technology but primarily by the appropriate choice of the graphics-task decomposition unit.

For animation sequences, frame-based containerization is appropriate; for images with non-uniform complexity, tile-based containerization is suitable;

for ray tracing, distribution by samples or passes is effective; and for complex hybrid systems, a pipeline or service-based model can be used. The most universal scheme for high-performance rendering is based on long-running GPU containers with a dynamic queue of smaller graphics tasks.

A promising direction is the combination of containerization with predictive-adaptive balancing, in which the orchestrator uses historical data on the complexity of frame regions, GPU characteristics, cache state, and network locality. This makes it possible to regard container infrastructure not merely as a deployment mechanism.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-6-14

Oleksandr ROMANYUK,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0000-0002-2245-3364

Oleksii STAKHOV,

Senior Lecturer,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0000-0002-4901-3211
Ukraine

METHODS FOR ACCELERATING THE RENDERING OF THREE-DIMENSIONAL SCENES

Rendering of three-dimensional scenes is the final and at the same time one of the most resource-intensive stages of computer graphics. At this stage, geometric representations of objects, material parameters, light sources, camera settings, textures, and auxiliary data structures are transformed into a two-dimensional image. Modern software systems impose contradictory requirements on rendering performance: realism must be increased, geometric complexity must grow, high image resolutions must be supported, and interactive frame rates must be maintained. Rendering acceleration should therefore be considered not as the optimization of one isolated algorithm, but as the coordinated design of an efficient graphics pipeline.

Performance improvement must begin with identifying the operations that form the critical computational path. In one scene the main limitation may be the processing of millions of polygons; in another it may be texture-memory traffic, complex illumination models, transparency, or repeated ray traversal. For real-time systems, the delay between a change in scene state and the appearance of the corresponding frame is also important. Consequently, optimization should rely on profiling, decomposition of frame time, and explicit control of image quality rather than only on reducing the number of arithmetic operations.

Research on the design of computer graphics systems emphasizes the need to coordinate architectural decisions with scene characteristics, illumination models, and the available hardware platform¹. New approaches to high-performance rendering also require modularity, replaceable algorithmic blocks, and parallel execution². This creates a methodological basis for combining rasterization, ray tracing, adaptive detail, spatial indexing, distributed computation, and machine-learning techniques within one software system.

The purpose of this monograph is to systematize methods for accelerating the rendering of three-dimensional scenes and to substantiate the principles of their combined application. Particular attention is paid to geometry optimization, culling, spatial search structures, rasterization and ray-tracing acceleration, illumination models, vector operations, levels of detail, load balancing, cloud and cluster rendering, image reconstruction, and adaptive scheduling. The expanded discussion also considers GPU-driven rendering, geometry clustering, memory and texture organization, temporal reuse, perceptual quality control, shader specialization, and the construction of a self-adjusting rendering architecture.

Frame formation time can be represented as a combination of costs associated with data preparation, geometry processing, construction or updating of spatial structures, rasterization or ray tracing, shading, post-processing, and output transfer. For a sequential abstraction one may write $T_{\text{frame}} = T_{\text{CPU}} + T_{\text{geometry}} + T_{\text{spatial}} + T_{\text{visibility}} + T_{\text{lighting}} + T_{\text{post}}$, whereas in a deeply pipelined system the actual frame time is largely determined by the longest

- 1 Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. In: *Teoretyko-metodolohichni zasady suchasnykh naukovykh doslidzhen* [Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research] : monograph. Kharkiv : SG NTM "Novyi Kurs", 2026. Section 4.5. Pp. 255-269. DOI: <https://doi.org/10.61718/mon202601>
- 2 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia : Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).

parallel stage. This means that accelerating a noncritical stage may have almost no influence on frame rate. The first optimization method is therefore not code rewriting but accurate localization of the current bottleneck.

In geometry-rich scenes the main costs are caused by vertex, normal, and texture-coordinate transformations, clipping, tessellation, and primitive setup. In scenes with complex materials, pixel or fragment shading dominates. In ray tracing, a large share of time is spent on traversing acceleration structures, testing intersections, and generating secondary rays. In post-processing, the workload depends on resolution, the number of full-screen passes, and buffer formats. The same optimization can consequently have very different effects on different scenes.

Arithmetic, memory, and synchronization costs should be distinguished. A modern GPU can efficiently execute a very large number of similar operations, but its efficiency decreases under irregular memory access, branch divergence, cache misses, and frequent barriers. High theoretical throughput does not guarantee high application performance if the working set exceeds cache capacity or if neighboring threads follow different execution paths. Rendering optimization should therefore reduce the total amount of work, improve data locality, and increase useful parallelism simultaneously.

Practical profiling should be performed on a representative set of scenes: a geometrically complex scene, a material-intensive scene, a scene with many light sources, a transparency-heavy scene, and a ray-traced scene. Results should be recorded not only as frames per second but also in milliseconds per frame because time values correctly describe absolute improvement. A reduction from 20 ms to 16 ms per frame is a directly interpretable 20% reduction in frame time, while FPS differences are nonlinear with respect to the initial value.

Table 1

Main groups of rendering-acceleration methods

Source: Authors

Method group	Target stage	Main effect	Typical limitations
1	2	3	4
Culling, LOD	Geometry	Reduction in the number of processed primitives	Detail error, visible LOD transitions
BVH, k-d tree	Visibility and rays	Reduction in intersection tests	Build and update cost

Continuation of table 2

1	2	3	4
BRDF optimization	Lighting	Less arithmetic and fewer samples	Risk of reduced realism
Parallelization	Entire pipeline	Higher throughput	Synchronization and imbalance
ML reconstruction	Post-processing	Fewer samples or rendered pixels	Artifacts and model dependence

The most direct way to accelerate a geometry-intensive scene is to prevent primitives that cannot influence the frame from entering later stages of the pipeline. This is achieved by combining model preprocessing, frustum culling, back-face culling, occlusion culling, and levels of detail. Every triangle rejected at an early stage saves work in vertex processing, primitive assembly, rasterization, fragment shading, and memory access. Early reduction of geometry therefore has a multiplicative effect on the entire pipeline.

Frustum culling evaluates an object relative to the six planes of the viewing volume. Instead of testing every triangle, it is more efficient to test a bounding sphere, axis-aligned bounding box, or oriented bounding box first. If the entire bound lies outside the frustum, the object is removed without internal geometry analysis. Static scenes benefit further from pre-grouping objects into spatial nodes. Excessively coarse grouping, however, reduces culling accuracy, whereas excessively fine grouping increases the number of tests and command-management overhead.

Occlusion culling removes objects that lie inside the view frustum but are completely hidden by other surfaces. In large interiors, urban environments, and industrial models, this technique can produce a larger gain than frustum culling alone. Efficient implementations should minimize the latency of visibility decisions and avoid synchronous readback from the GPU to the CPU. Hierarchical depth buffers and conservative visibility tests are effective because they enable early rejection without forcing the processor to wait for a completed graphics query.

Reducing the number of draw calls is a separate optimization problem. Even when the GPU has enough raw capacity to process the geometry, thousands of small submissions can produce a CPU bottleneck. Static batching, instancing, multi-draw commands, and indirect drawing move a larger part of command

generation toward the GPU. Aggressive batching must nevertheless be coordinated with culling: one very large batch is difficult to reject partially, so the optimal granularity depends on scene structure and camera movement.

Studies of high-performance rendering architectures support adaptive selection of geometric complexity rather than one fixed level for all conditions³. A practical criterion can combine projected object size, distance, surface curvature, silhouette importance, and the current frame-time budget. With this approach, LOD becomes not only an artistic asset-management technique but also a mechanism for active control of computational workload.

Spatial data structures are fundamental to reducing the number of tests in ray tracing, visibility determination, and collision-related queries. Without indexing, a ray potentially tests its intersection with every primitive in the scene, which becomes unacceptable for complex models. Bounding-volume hierarchies, k-d trees, octrees, and regular grids reduce the search space by rejecting large groups of primitives at once. The best structure depends on the proportion of static and dynamic objects, the spatial distribution of geometry, and the dominant type of query.

BVH is particularly suitable for ray tracing because it works well with nonuniform geometry and supports hierarchical rejection. Hierarchy quality is determined not only by depth but also by how effectively primitives are distributed among child nodes. Surface-area heuristics estimate expected traversal cost and often reduce the total number of node and primitive tests. Dynamic scenes introduce another dimension: a high-quality hierarchy may be too expensive to rebuild every frame, so fast refitting of an existing tree can outperform complete reconstruction in total frame cost.

Memory locality is critical during traversal. Nodes that are logically adjacent should be stored compactly to reduce random memory access. Linearized BVHs, dense index arrays, and spatial ordering of primitives can reduce cache misses and improve coalesced GPU access. Packet traversal benefits from rays with similar directions, although secondary rays gradually lose coherence. A modern implementation should therefore treat structure layout as part of the algorithm rather than as a secondary storage detail.

3 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia : Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).

In hybrid systems the same spatial structure can support multiple functions: shadows, reflections, nearest-hit queries, ambient occlusion, and some visibility tests. Reuse reduces duplication of data but increases the need for a stable interface between the rendering modules and the acceleration-structure service. This separation is architecturally valuable because it allows the underlying structure to be replaced or tuned without rewriting high-level shading code.

Rasterization remains the basis of most interactive graphics because it converts geometric primitives into fragments with extremely high throughput. Its acceleration is determined less by the coverage test itself than by data organization and the amount of work performed for each fragment. If an expensive pixel shader is executed for a fragment that is later rejected by a depth test, the computation is wasted. Early depth testing, a depth pre-pass where justified, and front-to-back ordering of opaque geometry can significantly reduce such work.

The ratio between the number of vertices and the number of shaded pixels is important. Very small triangles increase setup and vertex-processing overhead while covering few pixels. Large triangles shift the workload toward fragment shading. Optimization should identify which mode dominates. For geometry-limited workloads, mesh simplification, meshlets, and fewer state changes are useful; for fragment-limited workloads, shader simplification, fewer texture samples, adaptive effect quality, and reconstruction from a lower internal resolution are more effective.

Pipeline-state changes and frequent transitions between resources also influence performance. Materials and objects are therefore commonly sorted by shared state to reduce expensive switches. Such sorting must preserve transparency correctness and should not undermine culling. A contemporary rendering architecture should treat the command stream as an optimized sequence of tasks rather than as a literal traversal of the scene graph⁴.

For multipass rendering, the cost of writing and rereading intermediate buffers must be considered explicitly. Deferred shading is convenient with many lights but creates significant G-buffer bandwidth. Forward+ and clustered

4 Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. In: *Teoretyko-metodolohichni zasady suchasnykh naukovykh doslidzhen [Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research]* : monograph. Kharkiv : SG NTM "Novyi Kurs", 2026. Section 4.5. Pp. 255-269. 299 p. DOI: <https://doi.org/10.61718/mon202601>

shading can reduce intermediate storage and better support transparency. The preferred technique should be selected from measurements on target scenes, taking into account the number of lights, material variety, memory bandwidth, and the need for post-processing data.

Ray tracing provides a natural formulation for reflections, refractions, shadows, and global illumination, but it requires a very large number of intersection operations. In physically based rendering, each pixel may generate multiple primary and secondary rays and the variance decreases only as additional samples are taken⁵. Acceleration therefore depends on three coordinated strategies: reduce the number of rays, reduce the cost of traversing the scene, and reconstruct acceptable image quality from fewer samples.

The first optimization level is an efficient acceleration structure. The second is early termination when further contribution to the result becomes negligible or when any occluder is sufficient for a shadow query. The third is limiting maximum path depth and applying probabilistic path termination. In offline physically based rendering, these decisions should preserve estimator correctness; in real-time rendering, carefully controlled approximations are acceptable when the visual error remains below the perceptual threshold.

Packet execution and ray coherence can improve the efficiency of SIMD and SIMT hardware. Primary rays from neighboring pixels have similar directions and tend to traverse similar BVH nodes. After diffuse bounces, coherence decreases and thread divergence grows. Sorting or regrouping rays by direction, material, or spatial region may restore some coherence, but reordering itself has a cost. The method is useful only when the reduction in traversal divergence outweighs the overhead of queue management.

Hybrid rendering uses ray tracing where it has the largest visual advantage: accurate reflections, soft shadows, selected occlusion effects, and limited global-illumination components. Primary visibility can remain rasterized while a small number of rays is denoised or temporally accumulated. This shifts the design objective from exact simulation of every light path toward efficient acquisition and reconstruction of the image information that matters most.

The cost of illumination grows with the complexity of the reflectance function, the number of lights, the number of texture samples, and the

⁵ Pharr M., Jakob W., Humphreys G. *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*. 4th ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 2023. 1280 p.

set of secondary effects. The choice of a BRDF must therefore account for computational cost in addition to physical plausibility. Romanyuk and co-authors have proposed and analyzed reflection models aimed at combining realism and efficiency^{6,7}. A practical rendering system benefits from several quality variants of a model that can be selected according to projected object size and available frame-time budget.

Lighting optimization begins by reducing the number of sources that actually affect a fragment. Screen-space or world-space clustering makes it possible to construct a compact list of relevant lights for each region. Instead of looping over every light in the scene, the shader processes only the local subset. The main engineering challenge is to build these lists efficiently without creating a CPU bottleneck or excessive memory fragmentation.

Another direction is to replace expensive transcendental operations with approximations, lookup tables, or pre-integrated functions. Simplification should be evaluated not only by numerical error of the BRDF itself but also by the effect on the final image. Small analytical errors can become conspicuous in specular highlights, grazing angles, silhouettes, or high-dynamic-range lighting. Performance decisions should therefore be based on image-space error as well as instruction count.

Image-based lighting demonstrates a general acceleration principle: repeated integrations can often be moved from frame time to preprocessing. Environment maps are prefiltered for different roughness levels and some parts of the lighting equation are represented by lookup textures. Complex integration is then replaced with a small number of texture reads. The same idea can be applied to static visibility, shadow data, material terms, and other slowly changing quantities.

Vector operations are basic to geometric transformations, lighting, direction calculations, and normal processing. Vector normalization is especially frequent and requires a square root and division in its direct form. Repetition of this operation millions of times makes it a meaningful optimization target. Work on

6 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Romanyuk O., Kotlyk S., Bobko O., Melnyk O. New Illumination Model for Rendering. In: 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 17-19 September 2025. IEEE, 2025. Pp. 723-727. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185843>

7 Romanyuk O., Lytvynenko V., Zavalniuk Y. Modified cosine-quadratic reflectance model. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2025. Vol. 15, No. 1. Pp. 45-48. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.7384>

accelerated vector normalization for rendering tasks proposes techniques for reducing computational cost while maintaining acceptable accuracy⁸.

A software system should distinguish operations that require high accuracy from those that tolerate approximation. Normals used in sharp specular lighting are more sensitive to error than auxiliary directions used for coarse visibility estimates. This makes it possible to provide several implementations of the same operation: an accurate variant, a fast approximate variant, and a batch SIMD/SIMT variant. The selected path can depend on material, effect, and quality mode.

Attribute interpolation also has a significant accumulated cost. Perspective-correct texture mapping requires reciprocal depth, and a large number of variables transferred from the vertex stage to the fragment stage increases interpolator traffic. Optimization consists of transmitting only the attributes that are actually needed, selecting compact formats, and reconstructing some quantities in the shader when arithmetic is cheaper than bandwidth. The correct balance depends on the microarchitecture and memory hierarchy of the target GPU.

Micro-optimizations that complicate code without measurable effect should be avoided. Shader compilers already perform many local transformations. Larger gains usually come from changing the algorithm: reducing the number of normalizations, moving invariant values out of loops, evaluating slowly varying terms per vertex instead of per pixel, or reusing previously calculated results. Optimization must remain measurement-driven.

Levels of detail are based on the principle that geometric and texture accuracy should correspond to an object's actual contribution to the image. If an object occupies only a few dozen pixels, millions of polygons cannot be visually resolved and merely consume resources. Classical LOD uses prebuilt versions of a model, while more flexible systems consider screen-space error, distance, camera motion, and object importance. This converts scene representation into a controllable performance variable.

LOD switching should avoid visible discontinuities. Geometric morphing, cross-fading, and threshold hysteresis can reduce popping. Shadows and

8 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Titova N., Romanyuk S. Accelerated Vector Normalization for Rendering Tasks. In: 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 19-21 September 2024. IEEE, 2024. Pp. 640-644. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712602>

reflections must also be considered: an object may be small in the main camera yet occupy a large region in a reflection or shadow map. Different passes can therefore use different detail policies. The objective is not maximum simplification but rational allocation of the geometric budget according to visible significance.

Adaptive tessellation is the opposite but related operation: geometry is refined only where silhouettes, displacement, or close-up inspection require additional detail. Tessellation factors must be bounded because uncontrolled generation of micro-polygons can create a severe geometry bottleneck. LOD, tessellation, and resource streaming should operate together so that data not used at the current quality level is neither processed nor unnecessarily loaded into memory.

For distant objects, impostors, billboards, and pre-rendered representations can replace full geometry. Their limitations include changing illumination, viewpoint dependence, and parallax, but multi-view or layered representations can reduce these problems. The important methodological point is that acceleration can come from changing the representation of the scene itself, not only from making an existing algorithm faster.

Parallelism is inherent in rendering because many vertices, fragments, or rays can be processed independently. A GPU exploits this property with thousands of concurrent threads. On the CPU side, scene preparation, animation, culling, command construction, resource streaming, and parts of acceleration-structure building can also be distributed across cores. The essential requirement is to remove unnecessary synchronization. A single globally locked scene structure can eliminate the practical benefit of otherwise parallel stages.

Amdahl's law shows that speedup is limited by the sequential portion of work: $S = 1 / ((1 - p) + p/N)$, where p is the parallel fraction and N is the number of execution units. If ten percent of the workload remains strictly sequential, unlimited scaling of the rest cannot produce a speedup larger than ten. For rendering systems this means that optimizing submission, scheduling, synchronization, and serial resource management can be as important as adding more computational units.

Distributed rendering can be decomposed by frames, image tiles, objects, rays, or lighting tasks. Frame-level distribution is simple but does not reduce latency of a single frame. Tile-based decomposition processes one image

in parallel but introduces load imbalance because a tile with sky may be far cheaper than a tile containing transparency, dense geometry, and reflections. Dynamic work allocation is therefore more effective than a fixed equal partition in heterogeneous scenes.

Networked systems add the cost of transferring scene data, textures, updates, and results. Effective systems use local caches, resource versioning, and delta transfer rather than repeatedly sending complete data sets. Static scenes benefit from pre-replication of resources. Dynamic scenes require compact update formats and, where possible, prediction of resources that will be required by subsequent frames.

A static division of the image into equal regions is simple but does not guarantee equal processing time. Real complexity depends on visible primitives, depth complexity, materials, transparency, shadows, and the number of rays. A method for balanced loading of rendering units for three-dimensional scene formation emphasizes the need to account for heterogeneous computational complexity across different frame regions⁹. In practice, task weight should be based on expected work rather than only on the number of pixels.

A tile weight can be modeled as $W = aN_{\text{tri}} + bN_{\text{light}} + cN_{\text{trans}} + dN_{\text{ray}} + eT_{\text{hist}}$, where the coefficients are determined through profiling and T_{hist} is previously observed time for a similar region. The model does not need to be exact; it only needs to rank relative complexity better than an equal-area assumption. A dynamic scheduler can then assign the most expensive available work to idle workers and reduce the tail latency of the frame.

Work stealing is another useful strategy. Each worker maintains a local queue but can take tasks from an overloaded neighbor when it becomes idle. This approach scales well for many independent tasks, yet excessively fine granularity increases scheduling and synchronization overhead. Task size should be large enough to use the GPU or CPU efficiently but small enough to prevent one exceptionally complex task from determining completion time of the entire frame.

Heterogeneous systems must account for different processing rates of individual nodes. Giving the same number of tiles to two GPUs from

⁹ Bobko O. L., Romanyuk O. N. Method of balanced loading of renderers in the formation of three-dimensional graphic scenes. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Informatyka, kibernetika ta obchysliuvalna tekhnika* [Scientific Works of Donetsk National Technical University. Series: Informatics, Cybernetics and Computer Science]. 2026. No. 1 (42). Pp. 119-126. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2026-1-42-119-126> (In Ukrainian).

different generations is not balanced. A scheduler should estimate observed throughput for every executor and adjust workload share dynamically. For long jobs, the performance model can be updated during execution. Load balancing thus becomes a feedback process: predict, execute, measure, and correct.

Cloud rendering provides elastic access to computation and makes it possible to scale a rendering task according to current demand. In offline visualization, this can mean parallel computation of animation frames; in interactive applications, it may mean remote rendering with video delivery to a client. The benefit depends on network latency, data-transfer cost, resource startup time, and the scalability of the rendering workload. Elasticity alone does not eliminate algorithmic bottlenecks.

Offline animation is particularly suitable for frame-level distribution because network overhead is amortized over long computations and the output of each worker is comparatively small. A single complex frame requires decomposition by image region or samples, which in turn requires shared scene resources and deterministic aggregation. Large texture sets should be cached near compute nodes to avoid repeated transfer.

Interactive remote rendering is constrained by end-to-end latency. Even a very fast server cannot compensate for an unstable network when immediate response is required. The relevant quantity is the sum $T_{\text{input}} + T_{\text{network1}} + T_{\text{render}} + T_{\text{encode}} + T_{\text{network2}} + T_{\text{decode}}$. Hardware video encoding, adaptive resolution, motion prediction, and selective local execution can reduce the total. A cloud system should be optimized for latency variance as well as average delay.

Cluster rendering also requires fault tolerance. Long-running tasks should be divided into recoverable units so that lost work can be reassigned. Determinism is valuable because the same tile or sample range should produce a reproducible result from identical input data. Deterministic task boundaries simplify caching, error detection, and partial re-execution.

Machine-learning methods alter the formulation of rendering acceleration. Instead of computing every high-quality pixel directly, a system can generate a cheaper intermediate result and reconstruct missing information with a learned model. Research on machine learning for accelerated rendering identifies neural reconstruction, adaptive sampling, and denoising as promising ways to reduce

cost¹⁰. In most practical architectures, the learning module optimizes a specific expensive stage rather than replacing the complete graphics pipeline.

Neural upscaling allows the scene to be rendered at a lower internal resolution and then reconstructed to the target resolution. The gain arises because a large part of fragment shading, ray tracing, and post-processing scales with pixel count. Reconstruction quality improves when the network receives motion vectors, depth, normals, and information from previous frames. The main engineering risks are temporal trails, flicker, errors on thin geometry, and instability in newly revealed regions.

Neural denoising is particularly important for ray tracing. It reduces the required samples per pixel and converts a noisy intermediate image into a stable approximation. The denoiser must not invent structurally incorrect detail; auxiliary buffers, temporal history, and carefully selected training data are therefore important. In scientific visualization, where image structures can have quantitative meaning, learning-based reconstruction must be validated against domain-specific error criteria as well as visual appearance.

Adaptive sampling uses a prediction of uncertainty or local variance. More rays or samples are directed toward complex and unstable regions, while fewer are assigned to smooth areas. The same complexity map can assist load balancing because it predicts which tiles will be expensive. Machine learning can therefore become part of the scheduling loop, not merely a final image filter¹¹.

No single rendering method is optimal for every component of an image. Rasterization is extremely efficient for primary visibility, ray tracing naturally represents many optical effects, and reconstruction can compensate for sparse sampling. Precomputed structures can accelerate static illumination components. A practical high-performance renderer therefore combines methods and assigns each visual component to the algorithm with the best quality-to-cost ratio.

A typical hybrid frame can use rasterization to generate primary surface information, clustered lighting for local sources, a limited number of rays

10 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

11 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

for reflections and shadows, spatio-temporal denoising for stabilization, and upscaling to restore the target output resolution. The challenge is to keep the data produced by these stages consistent. Depth, normals, geometric boundaries, motion vectors, and material identifiers must refer to the same scene state, otherwise reconstruction produces ghosting and edge artifacts.

Hybridization also applies to quality. Important objects, the central region of the frame, or a still-image capture mode may use more expensive illumination while peripheral or fast-moving regions use a simplified path. In virtual reality this principle is related to foveated rendering. Spatially nonuniform quality is effective only when transitions remain visually unobtrusive and the quality policy does not create temporal instability.

The software architecture must support such combinations without duplicating the complete renderer. Modularity and clear interfaces between subsystems are central to architectures for high-realism and high-performance rendering¹². Each module should return not only its image contribution but also information about execution cost, confidence, or residual error so that the scheduler can adapt the next frame.

A suitable architecture divides the renderer into scene management, visibility, geometry preparation, illumination, tracing, post-processing, and profiling subsystems. Scene management maintains resources and versions. The visibility module performs culling and LOD. Geometry preparation forms batches or meshlets. The illumination module constructs light lists and evaluates BRDF parameters. Tracing uses a shared acceleration-structure service. Post-processing performs reconstruction, while the profiler returns timing statistics to the scheduler¹³.

The core principle is a closed optimization loop. During frame k the system measures stage times and resource use. Before frame $k+1$, the scheduler

12 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.51649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).

13 Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. In: *Teoretyko-metodolohichni zasady suchasnykh naukovykh doslidzhen* [Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research]: monograph. Kharkiv: SG NTM "Novyi Kurs", 2026. Section 4.5. Pp. 255-269. 299 p. DOI: <https://doi.org/10.61718/mon202601>; Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.51649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).

compares these measurements with the target budget. If the budget is exceeded, the cost of the dominant stage is reduced first: LOD may be decreased, ray count lowered, effect resolution reduced, or BRDF complexity simplified. If there is stable headroom, quality can be increased. This targeted response is more efficient than reducing every quality parameter equally.

Stable and rapidly changing control variables should be distinguished. LOD and internal resolution can change relatively often, while rebuilding large data structures or changing shader sets may have higher cost and should occur less frequently. Hysteresis and filtered metrics are useful for preventing oscillation. For example, a quality reduction may be triggered only after several consecutive frames exceed the budget, while quality is restored only after stable spare capacity is observed.

The architecture should support asynchronous operations. Texture loading, shader compilation, partial structure building, and data copying should not block the main thread when dependencies permit parallel execution. Task queues, worker pools, and dedicated GPU queues make this possible. Asynchronous execution is not free, however: dependency tracking and resource-state management must be explicit to avoid hidden waits that merely move synchronization to a less visible location.

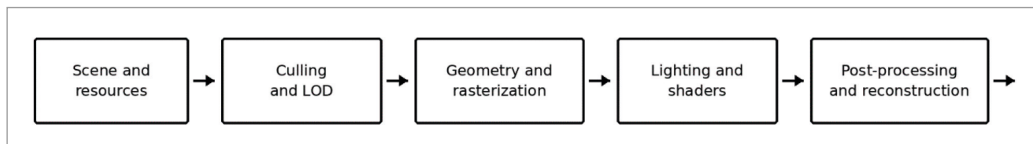


Figure 1. Generalized structure of an accelerated rendering pipeline

A correct evaluation must separate genuine acceleration from random variation. Before measurement, caches should be warmed, shader compilation completed, and the clock-frequency regime stabilized. For every scene, the distribution of frame times should be recorded rather than only the average. The 95th and 99th percentiles reveal rare but user-visible stalls. In interactive systems, stable latency is often more important than the maximum average frame rate.

Methods should be compared at equal quality or with an explicitly stated quality difference. If one variant uses a lower resolution or fewer rays, the result is not pure algorithmic acceleration but a quality-for-speed trade-off. Such trade-offs are legitimate, but they require two metric groups: performance and

quality. PSNR, SSIM, perceptual metrics, temporal stability measures, and expert assessment may be combined; geometric LOD can additionally be evaluated by screen-space silhouette or normal error.

The contribution of individual optimizations should be measured using ablation experiments. LOD, culling, accelerated normalization, denoising, temporal reuse, or load balancing can be disabled one at a time. This reveals which component produces the observed gain. When several techniques interact, their combined speedup may be smaller than the sum of separate gains because the dominant bottleneck changes after each successful optimization.

For reproducibility, the driver version, graphics API, GPU and CPU models, memory capacity and frequency, output resolution, quality parameters, ray count, denoiser version, scene revision, and camera trajectory should be fixed. Recorded camera paths allow the same workload to be replayed. This is particularly important for adaptive systems because scene complexity varies during movement and a single static view may not expose the difficult frames.

If a renderer is CPU-limited, priorities include reducing draw-call overhead, using instancing, preparing commands in parallel, simplifying scene-management logic, and minimizing synchronization. If the geometry stage on the GPU is the bottleneck, LOD, meshlets, culling, and compact vertex formats are appropriate. If fragment shading dominates, overdraw, material complexity, light counts, texture sampling, and internal resolution should be examined. This classification keeps optimization focused on the active constraint.

For ray tracing, the first checks are the quality and update strategy of the BVH, ray count, path depth, divergence, and denoiser efficiency. For distributed rendering, attention shifts to task imbalance, network traffic, and worker idle time. For cloud-interactive rendering, the complete latency path should be decomposed into network, rendering, encoding, and decoding components. The largest contribution should be optimized first, not simply the component that is easiest to modify.

Methods proposed by Romanyuk and co-authors demonstrate that performance reserves exist at multiple levels: pipeline organization¹⁴, software

¹⁴ Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. In: *Teoretyko-metodolohichni zasady suchasnykh naukovykh doslidzhen* [Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research]: monograph. Kharkiv : SG NTM "Novyi Kurs", 2026. Section 4.5. Pp. 255-269. 299 p. DOI: <https://doi.org/10.61718/mon202601>

architecture¹⁵, load balancing¹⁶, machine learning¹⁷, reflectance models¹⁸, and basic vector operations¹⁹. This supports a multilevel optimization strategy. The strongest result should be expected from successive removal of bottlenecks with repeated measurement, not from one isolated “universal” technique.

The final criterion is not the minimum number of operations but fulfillment of functional requirements within a defined time budget. In an interactive system this means stable frame time; in offline rendering, minimum time to the required quality; in cloud services, a balance of speed, monetary cost, and throughput; and in scientific visualization, preservation of visual and numerical fidelity. Acceleration must therefore be evaluated in the context of the target scenario.

Traditional rendering pipelines rely on the CPU to traverse the visible scene and submit a large number of commands. This model becomes inefficient when scenes contain hundreds of thousands of potentially visible objects. GPU-driven rendering transfers visibility filtering, command compaction, and often LOD selection to compute shaders or mesh-processing stages. The CPU submits a small number of persistent or indirect command buffers, while the GPU determines which objects and clusters should actually be drawn. The advantage is not only lower submission overhead but also improved scalability when the visible set changes rapidly from frame to frame.

- 15 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).
- 16 Bobko O. L., Romanyuk O. N. Method of balanced loading of renderers in the formation of three-dimensional graphic scenes. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Informatyka, kibernetyka ta obchysliuvanna tekhnika* [Scientific Works of Donetsk National Technical University. Series: Informatics, Cybernetics and Computer Science]. 2026. No. 1 (42). Pp. 119-126. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2026-1-42-119-126> (In Ukrainian).
- 17 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: *Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov*. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>
- 18 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Romanyuk O., Kotlyk S., Bobko O., Melnyk O. New Illumination Model for Rendering. In: *2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Šibenik, Croatia, 17-19 September 2025. IEEE, 2025. Pp. 723-727. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185843>; Romanyuk O., Lytvynenko V., Zavalniuk Y. Modified cosine-quadratic reflectance model. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. 2025. Vol. 15, No. 1. Pp. 45-48. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.7384>
- 19 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Mykhaylov P., Chekhmestruk R., Titova N., Romanyuk S. Accelerated Vector Normalization for Rendering Tasks. In: *2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ceske Budejovice, Czech Republic, 19-21 September 2024. IEEE, 2024. Pp. 640-644. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712602>

An efficient GPU-driven pipeline usually stores object descriptors in compact arrays. A compute pass tests bounding volumes against the frustum and hierarchical depth information, selects LOD, and writes identifiers of visible items into a compacted list. A second stage converts this list into indirect draw or dispatch commands. Because the entire operation remains on the GPU, there is no synchronous readback of the visible set. The design must, however, reserve enough command-buffer capacity and handle the case where conservative estimates overallocate memory.

Data organization is critical. Object descriptors should separate frequently accessed fields from rarely used metadata so that culling does not fetch complete material or animation records. Dense identifiers and structure-of-arrays layouts improve access when thousands of neighboring threads read the same field. Stable indices are also useful because they allow visibility history and occlusion confidence to be preserved across frames. The GPU-driven approach therefore depends as much on data-oriented architecture as on the use of indirect commands.

The main limitation is reduced simplicity of debugging and synchronization. Resource barriers between culling, command generation, and drawing must be correct, and the system must prevent one frame from overwriting indirect data still used by another. Double or triple buffering of command lists is often appropriate. A well-designed GPU-driven renderer can be integrated with the modular architecture described above by treating command generation as a visibility product rather than as a CPU-side scene traversal step.

Large scenes benefit from partitioning geometry into small clusters, commonly called meshlets, that contain a limited number of vertices and triangles. Such clusters provide a convenient unit for culling, LOD selection, streaming, and parallel dispatch. Instead of processing an entire mesh because one part is visible, the renderer can reject or select only the relevant clusters. This increases culling precision while keeping the number of scheduling units manageable.

A cluster can store a compact local vertex index set, a bounding sphere or box, a normal cone, material identifiers, and links to neighboring detail levels. The normal cone allows back-facing clusters to be rejected before triangle processing, while the bound supports frustum and occlusion tests. If cluster metadata is small enough to remain cache-resident, visibility decisions become

inexpensive. The quality of clustering affects both locality and culling efficiency; clusters that are spatially incoherent reduce the benefit even if they satisfy a fixed triangle count.

Geometry streaming should operate at the same granularity. When the camera approaches a region, the system requests the clusters needed by the selected LOD rather than loading a complete high-resolution object. A residency manager tracks which blocks are present in GPU memory and which can be evicted. Prefetching based on camera velocity, scene topology, or visibility history can hide transfer latency. Conversely, overly aggressive prefetching wastes bandwidth and may evict useful texture or geometry data.

The strongest architecture combines cluster-based geometry with asynchronous storage and GPU-driven visibility. The visibility pass identifies missing high-detail clusters, the streaming system schedules them for future frames, and a coarser resident representation is used until loading completes. This avoids hard stalls and supports very large scenes whose full geometry does not fit in graphics memory. LOD is thus connected directly with memory management and is no longer a purely geometric decision.

Consecutive frames in an interactive renderer are highly correlated. Most surfaces remain visible, many illumination terms change slowly, and camera motion is limited from one frame to the next. Temporal reuse exploits this coherence by reprojecting results from previous frames instead of recomputing them completely. The method is applicable to antialiasing, denoising, ambient occlusion, indirect illumination, reflections, shadow filtering, and many post-processing effects.

Reprojection uses motion vectors and depth to map previous samples into the current frame. A history sample should be accepted only when geometric and material consistency tests indicate that it still represents the same surface. Depth discontinuities, disocclusion, animation, and rapidly changing lighting reduce reliability. Confidence values can therefore be stored with the history and used to determine the blend factor between reused and newly computed information.

Temporal accumulation effectively increases sample count without increasing the number of rays or shading evaluations per frame. The benefit is largest in stable areas but it introduces a new optimization objective: avoid spending excessive work where history is already reliable while directing new

samples toward unstable regions. This is closely related to adaptive sampling and machine-learning uncertainty estimation²⁰. A common scheduler can use temporal confidence as one of the inputs to the quality controller.

Caching is broader than temporal accumulation. Static shadow terms, prefiltered environment data, material intermediates, transformed constants, and spatial query results can all be reused when their dependencies have not changed. The essential requirement is correct invalidation. A cache that returns obsolete information may produce subtle visual errors that are difficult to diagnose. Resource versioning and explicit dependency tracking therefore provide both correctness and performance.

Dynamic internal resolution is an effective method when fragment shading or ray tracing scales approximately with pixel count. If frame time exceeds the target, the internal render size can be reduced and the output reconstructed to the display resolution. The control algorithm should respond smoothly: abrupt changes in scale can cause visible fluctuations in sharpness and can destabilize temporal filters. Hysteresis, filtered frame-time estimates, and bounded rate of change are appropriate.

Perceptual control extends the idea by recognizing that not all regions of an image contribute equally to perceived quality. Areas with high contrast, readable text, thin geometry, or direct user attention should receive more resources. Regions with strong motion or low visual sensitivity can often tolerate reduced shading rate or fewer rays. In virtual-reality systems, eye tracking enables foveated rendering, in which the foveal area is rendered at high quality and peripheral regions at lower quality.

The main difficulty is to prevent the optimization from becoming visible. Spatial transitions in resolution or shading rate should be smooth, and temporal stability must be preserved as the gaze or camera moves. Quality decisions should also respect content semantics. A small interface element may occupy few pixels yet be visually important, while a large blurred background can tolerate aggressive simplification. A practical quality map can combine screen-space derivatives, motion, depth discontinuities, saliency, and application-specific importance.

20 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

Perceptual methods are especially effective when combined with reconstruction. Lower shading rates or sparse ray samples create missing information, while temporal and neural filters reconstruct the full-resolution image. This forms a general pattern: computational work is concentrated where it most influences perceived result, and reconstruction supplies the remaining detail. The scheduler must nevertheless maintain conservative limits to avoid systematic degradation in scenes that differ from those used to tune the quality policy.

In many modern renderers, performance is limited not by arithmetic throughput but by memory traffic. Large texture sets, high-resolution G-buffers, shadow maps, geometry attributes, and acceleration structures compete for bandwidth and cache capacity. Reducing transferred bytes can therefore be more valuable than reducing a small number of shader instructions. The first step is to measure bandwidth, cache hit rates, and the size of intermediate surfaces rather than assuming that a shader is compute-bound.

Texture compression reduces both memory capacity and bandwidth requirements, provided that formats are chosen according to content. Normal maps, color textures, high-dynamic-range data, and masks may require different compression strategies. Mipmapping is equally important because it prevents distant surfaces from sampling unnecessarily high-resolution data. Streaming should load only the mip levels required by the current projected size and maintain a residency margin to prevent visible late loads during camera motion.

Intermediate buffers should use the narrowest precision that preserves the required quality. A G-buffer that stores every attribute in a 32-bit floating-point format can consume several times more bandwidth than necessary. Normals can often be encoded compactly, material identifiers stored as integers, and some reconstructed quantities omitted entirely. Such changes should be evaluated globally because reducing memory traffic may increase arithmetic cost. On many GPUs, exchanging bandwidth for moderate arithmetic is advantageous.

Memory allocation strategy also matters. Frequent allocation and destruction of short-lived render targets can introduce synchronization and fragmentation. Transient resource pools, aliasing of non-overlapping buffers, and frame graphs can reuse the same physical memory for different logical resources. The frame graph additionally makes resource lifetimes explicit and helps the renderer

schedule barriers and asynchronous work. Memory management becomes an active component of performance architecture.

A renderer with many materials, quality modes, light types, and geometric options can generate a combinatorial number of shader variants. A fully generic shader reduces the number of binaries but may execute unnecessary branches and access unused resources. Excessive specialization, on the other hand, increases compilation time, cache size, and pipeline-state management overhead. High-performance systems therefore seek a controlled middle ground.

Specialization should be applied to parameters that remove substantial work, such as the presence of normal mapping, skinning, alpha testing, or a major illumination feature. Minor numerical options can often remain uniform parameters. Variant keys should be compact and stable so that shader and pipeline caches can be indexed efficiently. Frequently used combinations may be precompiled, while rare variants are compiled asynchronously and temporarily fall back to a compatible simpler path.

Pipeline-state creation can cause visible stalls if performed on demand during rendering. A preparation phase should identify likely states from scene materials and compile them before they are needed. Persisting a pipeline cache between runs can reduce startup and traversal stalls. Telemetry is useful because it identifies which variants are actually used and which merely increase complexity. Eliminating unused combinations improves both memory consumption and development reliability.

Shader optimization remains subject to the same bottleneck principle as the rest of the renderer. Instruction count alone is not sufficient. Register pressure can reduce occupancy, divergent branches can waste lanes, and texture access may dominate execution. A shorter shader may even run slower if it increases memory stalls. Profilers and hardware counters should therefore guide specialization decisions rather than source-code appearance.

A frame graph describes rendering as a dependency graph of passes and resources. Instead of manually sequencing every stage, the system records which resources each pass reads or writes and derives a valid execution order. This makes lifetimes explicit, reveals opportunities for transient-memory reuse, and simplifies synchronization. More importantly, it makes it possible to identify independent work that can overlap on modern hardware.

Graphics, compute, and copy queues can execute concurrently when resource dependencies allow. For example, a compute queue may build light clusters for a later pass while the graphics queue rasterizes an unrelated shadow map, and a copy engine can upload future resources in parallel. Asynchronous overlap is beneficial only if it uses otherwise idle units. Launching compute work that competes for the same bottlenecked memory bandwidth can increase total frame time even when execution appears parallel.

The scheduler should therefore estimate not only dependencies but also resource contention. Passes that are both bandwidth-heavy may be better serialized, whereas a compute-heavy pass can overlap with a transfer-heavy stage. Hardware counters and historical timings can provide simple heuristics. The closed-loop architecture described earlier can extend from quality adaptation to queue scheduling by choosing overlap policies that minimize critical-path duration.

Frame graphs also improve correctness. Automatic barrier generation reduces the risk of reading data before writes are complete, and aliasing can be restricted to resources with non-overlapping lifetimes. For a large renderer with dozens of passes, this structured representation is easier to maintain than a growing sequence of manual transitions. Architectural clarity thus supports performance because it makes more aggressive scheduling possible without sacrificing reliability.

The techniques considered above can be integrated through a scheduler that treats frame time as a controlled resource. Its inputs include measured times of pipeline stages, GPU occupancy, memory traffic, visible-object counts, ray counts, temporal-confidence maps, streaming pressure, and worker utilization. Its outputs are quality parameters such as LOD thresholds, internal resolution, ray budget, shadow quality, BRDF variant, streaming priority, and task distribution. The scheduler should change only a limited set of parameters per frame to preserve stability.

A practical policy can be hierarchical. The first level preserves hard constraints such as memory limits and required latency. The second level ensures that the dominant bottleneck remains within the frame budget. The third level distributes remaining capacity to visible-quality improvements. This hierarchy prevents the controller from increasing geometric detail while the application is already bandwidth-limited or from adding rays when the denoiser is not the limiting stage. Optimization becomes a resource-allocation problem rather than a collection of independent switches.

Control should include prediction because measurements describe the previous frame while the next frame may be more complex. Camera velocity, scene regions, animation state, and historical complexity can provide short-term forecasts. Conservative prediction is valuable during fast camera movement because newly revealed geometry and textures can create sudden spikes. Prefetching, temporary LOD reduction, and a reserved time margin reduce these spikes without permanently lowering image quality.

The scheduler can also learn long-term characteristics of the application. It can estimate the cost of each quality option on the current hardware and build a device-specific performance model. Such calibration allows one software system to adapt to a wide range of GPUs and CPUs without manually tuned presets. Machine learning may assist this prediction²¹, but a transparent rule-based controller remains useful because its decisions are easier to validate and constrain.

A single optimization recipe cannot be applied to all applications. In architectural visualization, geometry streaming, occlusion culling, high-resolution textures, and stable reflections are central. In games, latency, animation, material variety, and dynamic lighting dominate. In engineering visualization, accuracy and very large assemblies may be more important than cinematic effects. Offline production rendering prioritizes time to converged quality and efficient use of clusters. The acceleration strategy should therefore be assembled from methods that match the scene and interaction model.

For a large static interior, a strong combination is hierarchical visibility, compact clusters, GPU-driven submission, cached static lighting terms, and dynamic resolution for post-processing. For an outdoor open world, resource streaming, LOD, impostors, virtualized texture access, and predictive prefetching become more important. For reflective product visualization, high-quality BRDF evaluation²², selective ray tracing, temporal denoising, and stable high-resolution reconstruction should be prioritized.

21 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

22 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Romanyuk O., Kotlyk S., Bobko O., Melnyk O. New Illumination Model for Rendering. In: 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 17-19 September 2025. IEEE, 2025. Pp. 723-727. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185843>; Romanyuk O., Lytvynenko V., Zavalniuk Y. Modified cosine-quadratic reflectance model. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. 2025. Vol. 15, No. 1. Pp. 45-48. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.7384>

For scientific or medical visualization, perceptual shortcuts require additional caution because image structures may carry quantitative meaning. Approximation is acceptable only when it does not alter diagnostically or scientifically relevant features. In such systems, deterministic rendering paths, error bounds, and reproducible quality settings are more valuable than aggressive adaptive changes. Performance optimization can still use spatial indexing, data locality, parallelism, and careful memory management without modifying the information content of the visualization.

The scenario-oriented approach does not contradict a common architecture. On the contrary, a modular renderer with unified profiling and scheduling can expose different policy configurations while sharing the same underlying execution framework. This is one of the strongest arguments for separating scene representation, visibility, lighting, tracing, reconstruction, and scheduling into explicit subsystems^{23, 24}.

Further development of high-performance rendering is expected to increase the degree of adaptivity. Geometry, shading, rays, and reconstruction will increasingly be controlled by measured contribution to image quality rather than by fixed global settings. Hardware support for mesh processing, ray traversal, variable shading, matrix operations, and specialized memory access encourages architectures that dynamically select the most efficient computational path for each part of a frame.

The boundary between traditional graphics and machine learning will continue to become more flexible. Learned modules can estimate visibility, sample importance, reconstruction confidence, and performance cost, while deterministic modules preserve geometric and physical constraints. The most reliable systems are likely to use learning as a controlled accelerator inside a structured pipeline rather than as an opaque replacement for the entire rendering process²⁵.

23 Romanyuk O. N., Zavalniuk Y. K., Bobko O. L., Novoseltsev O. O., Stakhov O. Y. Basic features of computer graphics system design. In: *Teoretyko-metodolohichni zasady suchasnykh naukovykh doslidzhen* [Theoretical and Methodological Foundations of Modern Scientific Research]: monograph. Kharkiv: SG NTM "Novyi Kurs", 2026. Section 4.5. Pp. 255-269. 299 p. DOI: <https://doi.org/10.61718/mon202601>

24 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).

25 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: *Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov*. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

Another important direction is joint optimization of rendering and resource transport. Very large models already require out-of-core data management, and cloud rendering introduces another memory hierarchy that spans client, network, server memory, and accelerator memory. Future schedulers must decide not only what to compute but also where the required data should reside and when it should be moved. Computation and data movement should be planned as one problem.

Finally, performance evaluation should evolve from isolated FPS measurements toward reproducible quality-performance curves. A renderer should be characterized by how much image quality it can maintain at 8, 16, or 33 ms budgets and how stable that quality remains during difficult scene transitions. Such a representation makes different methods comparable and directly supports adaptive scheduling. It also reflects the central principle of this monograph: performance is a controlled resource that must be allocated according to visual importance and system constraints.

Rendering algorithms should be adapted to the execution characteristics of the target hardware rather than optimized in an abstract machine model. The same workload can behave differently on a desktop GPU, an integrated graphics processor, a mobile accelerator, or a multi-GPU workstation. Differences in cache hierarchy, memory bandwidth, register capacity, wave or warp width, ray-traversal hardware, and asynchronous execution support change the relative cost of algorithms. A portable high-performance renderer should therefore separate the semantic description of a task from the hardware-specific strategy used to execute it.

Occupancy is an important but not absolute objective. Increasing the number of active warps can hide latency, but excessive register or shared-memory consumption may reduce the number of simultaneously resident thread groups. Conversely, a shader with lower occupancy can still be faster if it has better locality and fewer memory transactions. Practical tuning should therefore examine execution counters together: active-wave occupancy, cache behavior, instruction issue, memory stalls, and branch divergence. No single counter should be used as a universal performance score.

Hardware ray-tracing units change the cost balance between traversal, shading, and reconstruction. When intersection tests are accelerated, material

evaluation, memory traffic, and secondary-ray management can become the new bottlenecks. The renderer should respond by reducing shader divergence, improving material locality, and batching rays with compatible work. Similarly, matrix or tensor accelerators can make learned reconstruction less expensive, but the benefit depends on data-transfer overhead and the precision format supported by the device.

A useful architectural solution is a capability layer that describes hardware limits and exposes them to the adaptive scheduler. The same quality goal can then be achieved differently on different devices: one GPU may favor more rays and a lightweight denoiser, while another may favor fewer rays and a stronger reconstruction stage. Hardware-aware optimization therefore complements, rather than replaces, the bottleneck-oriented approach developed throughout this monograph.

Compact representations reduce both storage and transfer costs. Vertex positions, normals, texture coordinates, transforms, and material parameters do not always require 32-bit floating-point precision. Quantization to smaller integer or floating formats can reduce bandwidth and cache pressure, provided that the resulting error is bounded. The correct precision depends on the coordinate range and the visual role of the attribute. For example, local object-space positions can often be quantized more aggressively than world-space camera transforms.

Normal vectors are especially suitable for compact encoding because a unit vector contains only two independent degrees of freedom. Octahedral or related encodings store a normal in two components and reconstruct the third during shading. The arithmetic cost of reconstruction is typically small relative to the bandwidth saved when millions of normal values are fetched. Similar reasoning applies to tangent frames, material parameters, and packed visibility flags. The objective is to transfer information rather than redundant numerical precision.

Compression is also relevant to distributed and cloud rendering. Geometry blocks, textures, and intermediate results may traverse PCI Express, local networks, or Internet links. A format that is slightly more expensive to decode can still reduce total latency if it substantially lowers transfer size. The scheduler should therefore consider end-to-end cost: encode time, transfer time, decode time, and subsequent cache behavior. This is particularly important when

scene updates are frequent and the communication channel is the dominant constraint.

Quantization must be validated at image level. Numerical error that is harmless in a diffuse region may become visible in silhouettes, high-frequency normal maps, or reflective surfaces. A robust system can select precision per resource class and, in advanced cases, per LOD. Coarser LODs may use more aggressive quantization because their screen-space error is already bounded. Compact representation thus becomes another adaptive dimension of the rendering pipeline.

A practical optimization process should be iterative and evidence-based. The first stage is to define the target scenario: output resolution, desired frame time, quality requirements, hardware class, scene range, and acceptable latency. The second stage is to establish a reproducible benchmark with fixed camera paths and representative content. The third stage is profiling, in which CPU time, GPU time, memory traffic, synchronization, streaming, and network costs are separated. Optimization begins only after the dominant constraint is known.

The next stage is to choose the least invasive method capable of reducing the bottleneck. Geometry-limited frames suggest culling, LOD, clustering, or streaming changes; fragment-limited frames suggest overdraw reduction, simpler materials, or dynamic resolution; traversal-limited frames suggest acceleration-structure and ray-coherence improvements; memory-limited frames suggest compression, compact buffers, and reduced intermediate traffic. After each change, the complete benchmark is repeated because the bottleneck may move to another stage.

Regression control is essential. A performance improvement that introduces unstable frame times, visible artifacts, excessive memory use, or a large increase in code complexity may not be an engineering improvement. Each optimization should therefore be recorded with its performance effect, quality effect, memory effect, hardware dependence, and maintenance cost. This creates a technical history that prevents previously rejected approaches from being reintroduced without evidence and makes future tuning more systematic.

The final stage is adaptive integration. Once several optimizations are validated independently, they can be connected to the runtime scheduler and activated according to measured conditions. The system should use

conservative boundaries, hysteresis, and fallbacks so that adaptation does not oscillate or produce unexpected visual changes. The result is a renderer in which performance engineering is not a one-time optimization phase but a permanent feedback mechanism integrated into the software architecture.

Acceleration of three-dimensional scene rendering is a multilevel problem that includes scene representation, visibility, rasterization, ray tracing, illumination, vector operations, memory organization, parallel execution, workload distribution, and image reconstruction. The most important principle is early elimination of unnecessary work: invisible objects should not proceed through later stages, excessive geometry should be replaced by an appropriate LOD, and expensive calculations should be performed only where they influence the final image.

The second principle is bottleneck orientation. A profiling system should identify the dominant stage, after which the parameters of that stage are adjusted first. This prevents significant effort from being spent on components that do not limit performance. In multicore, GPU, and cluster systems the same principle extends to load balancing, memory traffic, command generation, and synchronization overhead.

The third principle is hybridization. Rasterization, ray tracing, adaptive detail, approximate reflectance models, cloud resources, temporal reuse, and machine learning are not mutually exclusive. They can operate as coordinated parts of one pipeline. Machine learning is particularly promising for reconstruction, denoising, uncertainty estimation, and performance prediction because it allows expensive samples to be concentrated in visually significant regions²⁶.

The expanded analysis shows that modern acceleration increasingly depends on data-oriented and adaptive architectures. GPU-driven submission, meshlets, asynchronous streaming, frame graphs, memory aliasing, temporal caches, variable internal resolution, shader specialization, and predictive scheduling can all reduce critical-path time when applied to the correct bottleneck. Their effectiveness depends on clear module boundaries, reliable telemetry, and conservative synchronization.

26 Romaniuk O., Zavalniuk Ye., Bobko O., Stakhov O., Romaniuk Ok. Machine learning for accelerated rendering. In: Science and education: innovations and prospects: collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2026. Pp. 7-17. 191 p. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-6-16>

A promising direction is the construction of self-adjusting rendering systems that use per-frame telemetry to select LOD, internal resolution, ray count, illumination complexity, streaming priority, and workload distribution. Combined with modular architectures²⁷ and efficient reflectance models^{28, 29}, this makes it possible to treat performance not as a fixed property of an implementation but as a manageable resource dynamically distributed to achieve the required quality of three-dimensional visualization.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-14-43

-
- 27 Zavalniuk Y. K., Romanyuk O. N., Pavlov V. S., Bobko O. L., Novoseltsev O. O. New software system architecture for highly realistic and high-performance rendering of 3D images. *Optiko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* [Optical-Electronic Information-Energy Technologies]. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2026. No. 1 (51). Pp. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2026-51-1-97-107> (In Ukrainian).
- 28 Romanyuk O., Zavalniuk Y., Romanyuk O., Kotlyk S., Bobko O., Melnyk O. New Illumination Model for Rendering. In: 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 17-19 September 2025. IEEE, 2025. Pp. 723-727. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185843>
- 29 Romanyuk O., Lytvynenko V., Zavalniuk Y. Modified cosine-quadratic reflectance model. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. 2025. Vol. 15, No. 1. Pp. 45-48. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.7384>



КРУЛЬ Петро Франкович,
д-р мистецтвознавства, професор,
завідувач кафедри виконавського мистецтва,
Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника
ORCID iD: 0000-0003-3228-8232

ДУДА Лариса Ігорівна,
канд. мистецтвознавства,
провідний концертмейстер,
Карпатський національний університет
імені Василя Стефаника
ORCID iD: 0000-0002-3821-9345
Івано-Франківськ, Україна

ЦЕХОВА МУЗИКА МАГНАТСЬКИХ ТА КОЗАЦЬКО-СТАРШИНСЬКИХ МАЄТКІВ XVII – ПОЧАТКУ XIX СТОЛІТЬ

Дослідження генезису виконавських інституцій дозволяє глибше зрозуміти процеси становлення європейської музичної культури, зокрема еволюцію хорового та оркестрового виконавства. Яскравим прикладом історичної трансформації виконавських складів є формування та розвиток феномену «капели», що відображає перехід від суто культових форм музикування до світських інструментальних практик.

Первісно у західноєвропейському культурному просторі цей термін мав архітектурне походження й означав невелику храмову споруду для богослужінь (від чого в українській мові виникло поняття «каплиця»). Однак із розвитком церковно-співацьких традицій назва місця відправи перейшла на сам виконавчий колектив – співаків, які забезпечували літургійний супровід. На ранніх етапах своєї історії західноєвропейські капели функціонували виключно як ансамблі вокального типу (спів а cappella). Лише згодом, у процесі поступового переходу музичного мистецтва до світських форм та інтенсивного розвитку інструментарію, відбулася кардинальна зміна виконавського профілю капел: до їхнього

складу почали залучати інструменталістів, що врешті-решт трансформувало ці колективи у повноцінні інструментальні оркестри.

Аналогічні тенденції розвитку виконавських структур спостерігалися і в східноєвропейському ареалі, зокрема в Польщі, де еволюція музичних осередків проходила подібні етапи. Своєрідна диференціація та співіснування різних виконавських моделей зафіксовані в Російській імперії XVIII століття. При імператорському дворі паралельно функціонували дві споріднені, але автономні музичні інституції – «придворная певческая капела» та «придворный певческий хоръ». Це відображало процес адаптації західноєвропейських стандартів професійного музикування та їхню взаємодію з традиційними хоровими формами.

Для української історії музичного виконавства цей феномен також мав вагоме значення. Західноєвропейські виконавські моделі активно проникали в український культурний простір, про що свідчить побутування терміна «капела» у вітчизняному музичному побуті щонайменше з першої половини XVIII століття. Яскравим історичним свідченням цього є приватні нотатки генерального хорунжого Миколи Ханенка, у щоденнику якого фіксується використання цього терміна для означення тогочасних музичних колективів¹. Така рання документальна фіксація підтверджує, що українське професійне виконавство розвивалося в єдиному річищі із загальноєвропейськими художніми процесами, оперативно освоюючи передові виконавські структури та форми організації музичного життя.

Аналіз вітчизняних історичних джерел свідчить про значну регіональну та жанрову специфіку побутування виконавської термінології на теренах України, де впродовж тривалого часу співіснували різні за походженням назви для означення музичних складів.

Зокрема, у тогочасній офіційній канцелярській документації, а також у живому народному мовленні активно вживався варіант «капелія». У народній рецепції це поняття, як правило, ототожнювалося виключно з інструментальним виконавством, тобто з оркестром. Цю тенденцію яскраво ілюструє історичний випадок 1768 року, коли Київський магістрат створив свій перший постійний професійний інструментальний колектив.

1 Ханенко Н. Дневникъ генеральнаго хорунжаго Николая Ханенка (1727–1753). К.: Типографія Г. Т. Корчак-Новицькаго, 1884. С. 27.

Попри те, що до його складу входили виключно інструменталісти без залучення вокалістів, інституція отримала офіційну назву «капелія». Стійка тенденція іменувати інструментальні оркестри «капелами» зберігалася в музичному побуті Лівобережної України й пізніше, упродовж перших десятиліть XIX століття².

Паралельно з похідними формами слова «капела», в українському культурному просторі XVIII століття функціонував універсальний термін «музика». Специфіка його тогочасного використання полягала в тому, що він однаковою мірою міг застосовуватися як до інструментальних оркестрів, так і до вокальних хорів. Подібна цілісна термінологічна практика була характерною для всього тогочасного імперського простору.

Наприкінці XVIII століття таке слововживання продовжувало побутувати й у середовищі церковно-співацьких колективів, зокрема в Чернігівській архієрейській півчій. Переконливим документальним підтвердженням цього є лист владики Чернігівського до київського генерал-губернатора Михайла Кречетнікова, датований 1790 роком, у якому ієрарх застосовує поняття «музика» не лише до власного колективу, а й до імператорського придворного хору³. Для означення інструментальних оркестрів нерідко використовувалися словосполучення «хор музики» або спрощене «хори», що вказує на відсутність на той час сувого сучасного розмежування між поняттями хорового та оркестрового виконавства.

Окрему сторінку в історії українського музичного виконавства становлять приватні магнатські та козацько-старшинські колективи. Попри те, що відомості про музикантів, яких утримувала тогочасна еліта, є фрагментарними, збережені джерела дозволяють відтворити загальну картину розвитку світського інструментального музикування XVII–XVIII століть. Перші задокументовані свідчення про наявність виконавських складів у козацької еліти пов'язані з дипломатичними візитами. Зокрема, відомо, що схожа практика фіксується і під час дипломатичних поїздок Івана Мазепи, чий офіційний почесний супровід задокументовано налічував десять

2 Круль П. Ф. Духовий інструментарій з історії музичної культури України : електрон. підручник. Івано-Франківськ : ПНУ імені Василя Стефаника, 2023.

3 Щербаківський Д. Набір півчих в 1790 році в Малоросії для придворної капели. Музика, 1924. № 1/3. С. 38–40.

трубачів та п'ять інших інструменталістів⁴. Це вказує на те, що духові та інші інструменти вже у цей час виконували важливу церемоніальну та репрезентативну функцію в козацькій державі.

Паралельно на українських теренах розвивалася традиція магнатських колективів західноєвропейського зразка. Ще у 1645 році представники роду Любомирських, які володіли величезними маєтностями на Правобережжі, організували власну капелу. Проте цей оркестр постійно дислокувався у Вісничі (західна, польська частина Галичини), де розташовувалася головна резиденція магнатів. Склад цього колективу був інтернаціональним: окрім польських та італійських майстрів, до нього входили талановиті виконавці-вихідці з Полонного, що на Волині⁵. Це є свідченням раннього залучення українських інструменталістів до професійних виконавських структур європейського типу.

На Лівобережжі одна з найдавніших згадок про приватні інструментальні осередки датується 1728 роком і пов'язана з ім'ям Михайла Корсака – відомого багатія зі Стародубського полку. Його капела функціонувала як суто цивільний світський ансамбль, а не військовий музичний підрозділ, що було рідкістю для тогочасного полкового побуту. Подібний професійний колектив цивільного спрямування утримував у своїй резиденції і гетьман Данило Апостол⁶. Процеси професіоналізації приватного музикування поглибилися у 1735 році, коли Андрій Полуботок заснував власний оркестр у маєтку в Михайлівці.

Вершиною розвитку цього виконавського напрямку на українських землях стала знаменита капела Кирила Розумовського в Глухові, заснована у 1751 році⁷. Вона вважалася найкращим приватним музичним осередком свого часу, де високу оцінку сучасників отримували не лише хор, а й професійний оркестр західного зразка⁸. Завдяки високій виконавській майстерності, європейському репертуару та залученню провідних майстрів, капела Розумовського не лише визначала рівень музичної культури

4 Рудчук Ю. А. Духова музика в Україні (XVIII – XIX ст.) : монографія. Київ : НАКККиМ, 2018. 196 с.

5 Przybyszewska-Jarmińska B. Muzyka na dworze księcia Hieronima Floriana Radziwiłła i magnackie kapele na terenach Rzeczypospolitej. Warszawa : Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk, 2013. 505 s.

6 Кузьмінський І. В. Світське інструментальне виконавство козацької старшини Гетьманщини у першій половині XVIII століття. *Часопис Національної музичної академії України імені П. І. Чайковського*, 43 (2), 2019. С. 14–28.

7 Хромченко О. В. Музична культура Глухова епохи гетьманства Кирила Розумовського. *Українське музикознавство*, 41, 2015. С. 34–45.

8 Корній Л. П. *Історія української музики: підручник. Ч. 2: Друга половина XVIII ст.* Видавництво М. П. Коць. 1998. 384 с.

в Україні, а й справила колосальний вплив на розвиток академічного інструментального мистецтва та формування виконавських стандартів при тогочасному імператорському дворі.

Паралельно впродовж другої половини XVIII століття помітними центрами інструментального мистецтва на Чернігівщині стають приватні мастки великих землевласників. Зокрема, у цей період значного розголосу набула інструментальна капела у Вишеньках⁹. Наявні джерела фіксують, що під час масштабних офіційних урочистостей 1781 та 1787 років саме цей колектив забезпечував високий рівень церемоніального супроводу. Масштаб капели та майстерність духового оркестру дозволяли тривалий час презентувати розвинену світську програму під час публічних заходів у Києві¹⁰. Практика залучення місцевих кадрів до магнатських ансамблів була загальноприйнятою: навіть найбільші приватні капели того часу, які вражали кількісним складом і налічували до двохсот виконавців, формувалися переважно з обдарованих українських інструменталістів та співаків¹¹.

Окрему, самобутню модель побутування виконавства представляє Правобережжя, де світська музика поєднувалася з просвітницькими та театралізованими практиками. Яскравим прикладом є діяльність капели графа Ігнація Сцибор-Мархоцького у його маєтку в Манківцях на Поділлі¹². Традиційно під час щорічних обжинок тут влаштовувалося масштабне театралізоване свято Царери, яке мало виражений соціокультурний характер. У цих святкуваннях брали участь тисячі місцевих селян у святковому вбранні, а центральною частиною дійства був урочистий похід за участю інструментальних ансамблів та хору парубків. Що найважливіше для історії музичної освіти, учасники цього хору та оркестру проходили фахову підготовку у спеціально створеній Миньковецькій «Музичній Академії»¹³. Незважаючи на переслідування та тиск з боку офіційного духовенства, яке вбачало у реформаторських діях Мархоцького еле-

9 Токарев, С. О. Музичний побут панських маєтків Чернігівщини кінця XVIII століття. *Сіверянський літопис*, (4), 2017. С. 141–146.

10 Там само. С. 144.

11 Гуменюк А. І. Українські народні інструментальні ансамблі та оркестри. Наукова думка, 1970. 254 с.

12 Завальнюк О. М. Соціокультурні реформи Ігнація Сцибор-Мархоцького в контексті розвитку Поділля. *Наукові праці Кам'янець-Подільського національного університету. Історичні науки*, 24, 2014. 80–89.

13 Коляда І. А. Музична освіта на Правобережній Україні у XVIII – на початку XIX ст.: інституційні виміри. *Часопис Національної музичної академії України імені П. І. Чайковського*, 50(1), 2021. 52–63.

менти обрядового вільнодумства, цей осередок став унікальним прикладом поєднання професійної європейської музичної освіти з традиційною українською народною культурою.

Специфікою соціокультурного побуту Правобережжя було прагнення місцевої еліти до створення синкретичних театралізованих дійств, де хорове мистецтво тісно перепліталось з інструментальним супроводом. У межах таких регіональних ініціатив хоровий колектив виконував ексклюзивний репертуар, автором якого часто виступав безпосередньо сам засновник або дідич маєтку. Урочиста процесія мала чітко регламентовану структуру: слідом за вокальним ансамблем рухалася спеціально обладнана велика возова платформа, запряжена волами, на якій розміщувався мобільний придворний оркестр¹⁴.

Якщо впродовж XVII – більшої частини XVIII століття утримання професійних оркестрових колективів було прерогативою виключно найзаможнішої магнатської аристократії, то на зламі XVIII–XIX століть цей феномен трансформувався у стійку соціокультурну тенденцію, охопивши також верстви середнього дворянства. Провідним центром музичного життя Волині у цей період стає Дубно. Зокрема, винятковою художньою якістю відзначалася добірна духовка капела князя Михайла Любомирського. Цей колектив виконував важливу репрезентативну функцію, забезпечуючи висококласний музичний супровід для світської еліти під час знаменитих Дубенських контрактів, які після 1797 року було перенесено до Києва¹⁵. Помітний внесок у децентралізацію професійного мистецтва та розвиток садибного музикування на Волинському Поліссі зробили також капели подстолича Прушинського в Пустомитах та Антонія Урбановського в Цепцевичах. Еталоном європейського зразка організації садибної культури була резиденція графа Олександра Ходкевича, де успішно функціонували компактний, але професійно організований театр та висококласний інструментальний оркестр, який очолював запрошений європейський віртуоз-флейтист і композитор Каршмідт¹⁶.

14 Круль, П. Ф. Духовий інструментарій з історії музичної культури України. ПНУ імені Василя Стефаника, 2013. 219 с.

15 Гуменюк, А. І. З історії української інструментальної музики (кінець XVIII – початок XIX ст.). *Українське музикознавство*, 2, 1967. 40–51.

16 Круль П. Ф. (2013). *Духовий інструментарій з історії музичної культури України*. ПНУ імені Василя Стефаника, 2013. 219 с.

Популяризація інструментального виконавства наприкінці XVIII століття призвела до того, що власні оркестри та театральні трупи почали з'являтися у місцях тимчасової чи постійної дислокації військових підрозділів на українських теренах. Так, у Корці на Волині великі світські двори утримували представники військового командування, зокрема генерал Леванедов та майор Муравйов¹⁷. Задля підтримки високого соціального статусу вони фінансували приватні театри та оркестрові колективи, залучаючи до керівництва іноземних фахівців – зокрема, достеменно відомо про запрошення двох капельмейстерів-італійців, які забезпечували європейський рівень підготовки місцевих інструменталістів.

Аналогічні процеси інтенсивної професіоналізації музичної культури в цей період охопили й Лівобережну Україну, де особливе місце посідала меценатська діяльність роду Галаганів. У 1779 році Іван Галаган організував у своєму родовому маєтку в Сокиринцях (нині Чернігівщина) професійний оркестр. Його справу на початку XIX століття успішно продовжив Григорій Галаган, який суттєво розширив мистецьку інфраструктуру маєтку¹⁸. Окрім оновлення оркестрового складу та регулярних виступів у сусідньому Фрілові-Багріїві, при сокиринському осередку було налагоджено комплексну систему художньої освіти: паралельно з навчанням інструменталістів велася цілеспрямована підготовка професійних акторів та балетної трупи. Це перетворило Сокиринці на один із найвпливовіших культурно-мистецьких центрів Лівобережжя, де формувалися підвалини майбутнього українського професійного театру.

Унікальний історико-документальний матеріал, що розкриває особливості функціонування та художній рівень приватних інструментальних капел на українських теренах зламу XVIII–XIX століть, міститься в мемуарній спадщині, зокрема в автобіографічних «Записках» Василя Ярославського¹⁹.

Автор детально аналізує інфраструктуру капели Василя Попова – очільника канцелярії Г. Потьомкіна, який сформував масштабний виконавський колектив, що поєднував класичний духовий склад із дедалі

17 Антонович Д. В. (1925). *Триста років українського театру: 1619–1919*. Український громадський видавничий фонд, 1925. 272 с.

18 Самойленко О. В. Сокиринський архітектурно-парковий комплекс у контексті музично-театральної культури Лівобережжя. *Сіверщина в історії України*, 8, 2015. 86–91.

19 Ярославский В. И. Записки Василия Ивановича Ярославского. 1782–1846. *Киевская старина*, 19(9), 1887. 49–72.

популярнішим тоді роговим оркестром. Згодом ця капела перейшла у власність цивільного губернатора Михайла Комбурлея. Спираючись на особисті враження від прослуховування колективу під час його дислокації в Хотині, В. Ярославський фіксує високі професійні стандарти та специфіку репертуару цього ансамблю²⁰.

Крім того, мемуарист засвідчує активний розвиток домашнього музикування на Слобожанщині та Харківщині. Зокрема, у 1797 році в маєтку генеральші Параскеви Штеричевої в селі Баси Сумського повіту фіксується постійне проживання запрошеного капельмейстера, який забезпечував фахову підготовку місцевих інструменталістів для домашнього ансамблю²¹. Аналогічні осередки професійного виконавства згадуються в селі Бугаївка Ізюмського повіту в резиденції губернського маршалка Василя Донця-Захаржевського, а також у Старому Мерчику, де близько 1804 року успішно функціонував оркестр поміщиків Шидловських²².

Винятковим прикладом поєднання інструментального та театрального мистецтва була капела полковника Дмитра Ширая, ад'ютанта фельдмаршала О. Голіцина. Його приватний оркестр і театр налічували понад двісті виконавців, які відбиралися з талановитих представників місцевого населення і проходили комплексну гуманітарну та художню підготовку. За свідченнями сучасників, музиканти й актори демонстрували високу виконавську культуру, вільно володіли іноземними мовами, орієнтувалися в класичному європейському мистецтві, а їхні сценічні виступи забезпечувалися коштовними костюмами та декораціями. Знаковим гуманістичним та історичним прецедентом став факт, що перед своєю смертю у 1809 році Д. Ширай дарував усім двомстам учасникам свого творчого колективу особисту свободу («відпустив на волю») та виділив значний фінансовий капітал у розмірі до 20 тисяч рублів для їхнього подальшого самостійного професійного розвитку²³.

Важливим підтвердженням системного характеру цього явища є офіційні статистичні відомості Полтавської губернії за 1804 рік, які фіксу-

20 Круль П. Ф. *Духовий інструментарій з історії музичної культури України*. ПНУ імені Василя Стефаника, 2013. 219 с.

21 Ярославский В. И. (1887). Записки Василия Ивановича Ярославского. 1782–1846. *Киевская старина*, 19(9), 1887. 49–72.

22 Коменда О. І. (2018). Садібна музична культура Слобожанщини на зламі XVIII–XIX століть. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку*, 28, 2018. 92–97.

23 Круль П. Ф. Українське кріпацьке музично-театральне виконавство межі XVIII–XIX століть: соціокультурний аспект. *Вісник Прикарпатського університету. Мистецтвознавство*, 6, 2004. 11–18.

ють небачену концентрацію приватних музичних осередків. Згідно з тогочасними реєстрами, в регіоні налічувалося щонайменше 144 приватні інструментальні капели. Незважаючи на очевидну неповноту архівних даних, географія поширення колективів вражає своєю розгалуженістю. Зокрема, виділялися капели поміщиків Масюкова та Черниша у Гадяцькому повіті; професійний ансамбль Гартмана у Миргородському повіті; у Прилуцькому повіті активно діяли колективи Петра Горленка та майора Григорія Галагана; оркестр майора Івана Боярського в селі Високий Горб у Лубенському повіті; капели ротмістра Шашина та повітового маршалка Чарби у Кобеляцькому повіті; ансамбль В. Неплюєва в Чорнобаївській волості у Золотоніському повіті; У Хорольському повіті культурне життя координували згадані князі Оболонські (село Оболонь), поміщиця Пламенцова (село Вишняки) та Базилевський (село Остап'є); У Полтавському повіті діяв великий оркестр Попова²⁴.

Водночас дослідники наголошують на фрагментарності тогочасної статистики. У реєстрах Роменського, Переяславського, Костянтиноградського, Пирятинського, Лохвицького та Кременчуцького повітів офіційно не зафіксовано жодної капели. Проте історико-соціокультурний аналіз свідчить, що в цих адміністративних одиницях розташовувалися численні маєтки заможних українських родин, які традиційно підтримували високі стандарти побутового та парадного музикування, що вказує на значно більші реальні масштаби побутування інструментального мистецтва²⁵.

Проведене дослідження свідчить, що приватні магнатські, козацько-старшинські та садибні інструментальні капели XVII – початку XIX століть пройшли значну еволюцію від військово-дипломатичних і церемоніальних ескортів до високопрофесійних світських ансамблів цивільного спрямування. Зміна художніх функцій приватного музикування відображала загальні процеси європеїзації та переходу української культури барокової та класицистичної епох, перетворюючи капели на маркер високого соціального статусу мецената. Побутування цих колективів відзначалося вираженою регіональною своєрідністю: якщо на Правобережжі домінувала магнатська модель західноєвропейського зразка, інтегрована в те-

24 Круль П. Ф. *Духовий інструментарій з історії музичної культури України* (Електронний підручник). ПНУ імені Василя Стефаника. 2023. 203 с.

25 Шреер-Ткаченко О. Я. *Історія української дожовтневої музики*. Музична Україна, 1969. С. 118.

атралізовані дійства та місцеві навчальні осередки, то на Лівобережжі та Слобожанщині сформувалася розгалужена мережа садибних цивільних оркестрів. Кадрова структура капел демонструвала поступовий перехід від залучення іноземних майстрів до обдарованих українських інструменталістів, які відзначалися високим виконавським рівнем та загальною гуманітарною освіченістю. Зрештою, діяльність панських капел, з-поміж яких еталонною була глухівська капела К. Розумовського, відіграла фундаментальну роль у децентралізації професійного мистецтва, забезпечила транзит європейських академічних стандартів у провінційні культурні центри та підготувала кадрове підґрунтя для майбутнього українського національного театру й оркестрового виконавства.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-44-53

Economic sciences



БОЙКІВСЬКА Галина Миколаївна,

канд. екон. наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту
персоналу та адміністрування,
Національний університет
«Львівська політехніка»
ORCID iD: 0000-0002-9978-7514
Україна

**ТРАНСФОРМАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО
РОЗВИТКУ ТАЛАНТІВ В ОРГАНІЗАЦІЇ:
ВІД УПРАВЛІННЯ ТАЛАНТАМИ ДО
ФОРМУВАННЯ ЕКОСИСТЕМНОЇ МОДЕЛІ**

Динамічність сучасного бізнес-середовища, прискорення технологічних змін, трансформація змісту трудової діяльності та посилення конкуренції за кваліфікованих працівників зумовлюють перегляд традиційних підходів до управління талантами. Якщо на ранніх етапах розвитку відповідної концепції основна увага зосереджувалася на виявленні працівників із високим потенціалом, їх залученні, розвитку та утриманні, то в сучасних умовах такого підходу недостатньо для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності організації. Потреба в талантах дедалі більшою мірою визначається не лише поточними кадровими потребами, а й стратегічними цілями організації, характером майбутніх завдань та її здатністю своєчасно формувати, залучати й комбінувати необхідні компетентності.

У науковій літературі концепція управління талантами не має єдиного усталеного трактування. І це зумовлено, зокрема, відмінностями у підходах до визначення поняття «талант», окреслення кола працівників, на яких поширюються відповідні практики, а також визначення меж самого управління талантами. П. Капеллі та Дж. Р. Келлер узагальнюють концептуальні та практичні підходи до управління талантами й звертають увагу на такі аспекти його сучасної трансформації, як відкритість ринків праці, вну-

трішня мобільність працівників та концентрація уваги на стратегічно важливих видах роботи¹. Дж. Д. Коллінгс і К. Меллахі, розвиваючи концепцію стратегічного управління талантами, визначають його через систематичну ідентифікацію ключових позицій, які по-різному впливають на формування стійкої конкурентної переваги організації, формування пулу працівників для їх заміщення та створення відповідної системи управління людськими ресурсами². Водночас С. Нійс, Е. Гальярдо-Гальярдо, Н. Дріс та Л. Селс наголошують на концептуальній складності поняття «талант» і необхідності належного теоретичного обґрунтування підходів до його визначення, операціоналізації та вимірювання³.

Отже, у традиційному розумінні управління талантами доцільно визначати як цілеспрямовану систему взаємопов'язаних практик, спрямованих на ідентифікацію, залучення, розвиток, використання та утримання працівників, компетентності й професійні характеристики яких мають стратегічне значення для досягнення цілей організації. При цьому управління талантами необхідно відмежовувати від управління персоналом у широкому розумінні. Якщо управління персоналом охоплює сукупність процесів, пов'язаних із формуванням, використанням, розвитком та функціонуванням персоналу організації загалом, то управління талантами акцентує увагу на тих працівниках, компетентностях і ролях, які мають підвищене стратегічне значення або характеризуються значним потенціалом створення організаційної цінності.

Водночас трансформація структури праці, поширення гнучких форм зайнятості, розвиток цифрових технологій та ускладнення міжорганізаційної взаємодії поступово розширюють межі традиційного підходу. Організація дедалі рідше може розглядати необхідні їй знання, компетентності та професійний досвід виключно як ресурс, що перебуває в межах її формального штату. Для реалізації стратегічних завдань можуть залучатися зовнішні експерти, консультанти, незалежні професіонали, фахівці, які працюють за гнучкими моделями зайнятості, партнери, освітні та на-

1 Cappelli P., Keller J. R. Talent Management: Conceptual Approaches and Practical Challenges. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*. 2014. Vol. 1. P. 305–331. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-031413-091314>.

2 Collings D. G., Mellahi K. Strategic Talent Management: A Review and Research Agenda. *Human Resource Management Review*. 2009. Vol. 19, No. 4. P. 304–313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2009.04.001>

3 Nijs S., Gallardo-Gallardo E., Dries N., Sels L. A Multidisciplinary Review into the Definition, Operationalization, and Measurement of Talent. *Journal of World Business*. 2014. Vol. 49, No. 2. P. 180–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2013.11.002>.

укові установи, професійні спільноти, а також технологічні рішення. Відповідно, змінюється не лише склад суб'єктів, залучених до створення цінності, а й сама логіка забезпечення організації необхідними людськими ресурсами та компетентностями.

У цьому контексті в сучасних дослідженнях сформувався підхід до розгляду *екосистеми робочої сили (workforce ecosystem)* як структури, що охоплює взаємозалежних учасників усередині організації та за її межами, які взаємодіють для досягнення індивідуальних і колективних цілей. У дослідженнях MIT Sloan Management Review та інших працях, присвячених екосистемам робочої сили, ця концепція пов'язується з необхідністю стратегічного й операційного управління різномірною робочою силою, яка виходить за межі традиційних організаційних кордонів. До складу такої екосистеми можуть входити штатні працівники, зовнішні виконавці, незалежні професіонали, партнери та інші суб'єкти, взаємодія між якими визначається характером роботи, організаційними цілями та наявними технологічними можливостями⁴.

Принциповим у межах екосистемного підходу є не саме розширення переліку залучених учасників, а цілеспрямована координація їх внеску відповідно до стратегічних цілей організації та характеру роботи, яку необхідно виконати. Відповідно, об'єктом управлінської уваги стає не лише працівник як носій трудового потенціалу, а й система взаємодії між різними джерелами компетентностей, організаційними процесами, технологіями та механізмами їх мобілізації⁵.

На цій теоретичній основі в межах цього дослідження пропонується розмежовувати три взаємопов'язані, але не тотожні категорії: *управління талантами, систему розвитку талантів та екосистему талантів*. Їх співвідношення відображає послідовне розширення об'єкта управління – від окремих працівників і стратегічно важливих позицій до формування організаційної спроможності забезпечувати необхідними компетентностями незалежно від джерела їх залучення.

4 Altman E. J., Kiron D., Schwartz J., Jones R. The Future of Work Is Through Workforce Ecosystems. MIT Sloan Management Review. 2021. January 18. URL: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-future-of-work-is-through-workforce-ecosystems/>; Jones R., Cantrell S., Altman E. J., Kiron D., Hatfield S. Managing an Extended Workforce: How Intentional Orchestrators Find Success in Workforce Ecosystems. Deloitte Insights. 2023. March 20. URL: <https://www.deloitte.com/global/en/insights/topics/talent/talent-ecosystem.html>.

5 Cantrell S., Weisz K., Griffiths M., Eaton K., Poynton S., Van Durme Y., Scoble-Williams N., Forsythe J. Unlocking the Workforce Ecosystem. Deloitte Insights. 2023. January 9. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/talent/human-capital-trends/2023/contingent-talent-management.html>

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика процесів управління талантами,
системи розвитку талантів та екосистеми талантів**

Джерело: розроблено автором

Характеристика	Управління талантами	Система розвитку талантів	Екосистема талантів
Основний об'єкт	Працівники з високим потенціалом, таланти та стратегічно важливі позиції.	Потенціал, компетентності та професійний розвиток працівників.	Сукупність внутрішніх і зовнішніх джерел талантів та компетентностей, а також взаємозв'язки між ними.
Основний фокус	Ідентифікація, залучення, розвиток, використання та утримання талантів.	Формування майбутніх компетентностей і розвиток кадрового потенціалу відповідно до стратегічних потреб.	Забезпечення організації необхідними талантами та компетентностями шляхом їх залучення, розвитку, переміщення та комбінування.
Основні учасники	Працівники, керівники, фахівці з управління персоналом.	Працівники, керівники, наставники, фахівці з управління персоналом, внутрішні експерти.	Працівники, керівники, команди, зовнішні фахівці, партнери, освітні та професійні спільноти, технологічні системи.
Часовий горизонт	Переважно поточні та середньострокові потреби.	Середньо- та довгостроковий розвиток.	Довгострокова адаптація до трансформації стратегічних потреб.
Логіка створення цінності	Реалізація потенціалу окремих працівників на стратегічно важливих позиціях.	Нарощування компетентностей і кадрового потенціалу організації.	Поєднання та мобілізація різних джерел компетентностей для реалізації стратегічних завдань.
Ключове питання	Які працівники та позиції мають стратегічне значення?	Як сформувати та розвинути необхідні компетентності?	Як забезпечити організацію необхідними талантами та компетентностями незалежно від їх джерела?

Наведене співвідношення доцільно розглядати не як жорстку ієрархію понять, а як розширення об'єкта, фокуса та механізмів забезпечення організації талантами й компетентностями. Управління талантами концентрується переважно на ідентифікації та використанні стратегічно значущого людського потенціалу. Система розвитку талантів розширює цей підхід шляхом інтеграції практик навчання, професійного розвитку, наставництва, внутрішньої мобільності та управління наступністю в

єдину систему формування майбутніх організаційних спроможностей. Екосистема талантів, своєю чергою, виходить за межі виключно внутрішньоорганізаційного контуру та передбачає координацію різних внутрішніх і зовнішніх джерел компетентностей відповідно до стратегічних завдань організації.

У даному дослідженні *система розвитку талантів* розглядається як інтегрована сукупність взаємопов'язаних процесів і практик, спрямованих на формування, підтримання та нарощування компетентностей, необхідних для поточної й майбутньої діяльності організації. Її відмінність від окремих практик управління талантами полягає передусім у системній інтеграції заходів розвитку та їх орієнтації на формування майбутнього кадрового потенціалу. У такій системі розвиток працівника розглядається у взаємозв'язку з поточними й перспективними потребами організації, очікуваною трансформацією її стратегії та зміною структури необхідних компетентностей.

Таким чином, об'єктом розвитку стає не лише індивідуальний працівник як носій певних професійних характеристик, а й спроможність організації формувати, відтворювати та оновлювати необхідні компетентності, що передбачає поєднання індивідуального, групового та організаційного рівнів розвитку й посилює значення безперервного навчання, передачі знань, професійної мобільності, управління наступністю та формування внутрішніх механізмів накопичення компетентностей.

Поняття *екосистеми талантів* у межах цього дослідження є авторською конкретизацією екосистемного підходу стосовно процесів формування, розвитку, залучення, переміщення та комбінування компетентностей, необхідних організації для реалізації її стратегічних цілей. Під *екосистемою талантів* пропонується розуміти сукупність взаємопов'язаних суб'єктів, ресурсів, процесів, технологій та інституційних механізмів, за допомогою яких організація залучає, розвиває, переміщує, комбінує та використовує необхідні їй компетентності для реалізації стратегічних цілей.

Таке визначення розширює традиційне розуміння таланту як властивості окремого працівника. У межах екосистемного підходу увага переноситься з питання про те, хто саме є талановитим працівником, на питання про те, яким чином організація може забезпечити себе необхідними компетентностями для виконання стратегічно важливих завдань. Джере-

лом таких компетентностей можуть бути як штатні працівники, так і зовнішні професіонали, консультанти, партнери, освітні та наукові установи, професійні мережі й інші учасники екосистеми. В окремих випадках частину роботи можуть виконувати цифрові технології та системи на основі штучного інтелекту, що додатково трансформує межі та способи організації трудової діяльності.

Зміна об'єкта управління закономірно трансформує і роль функції управління персоналом. У межах екосистемного підходу служба управління персоналом вже не виступає єдиним центром відповідальності за розвиток талантів, а стає одним із ключових координаторів відповідних процесів. Формування середовища розвитку та ефективного використання талантів передбачає участь керівників різних рівнів, безпосередніх керівників працівників, команд, фахівців з управління персоналом та інших функціональних підрозділів. Дослідження екосистеми робочої сили (workforce ecosystems) також акцентують увагу на міжфункціональній координації, у якій поряд із HR-функцією можуть брати участь керівництво, бізнес-підрозділи, закупівлі, інформаційні технології, юридична та фінансова функції.

У зв'язку з цим зростає значення корпоративного навчання, наставництва, професійної та внутрішньої мобільності, управління наступністю, міжфункціональної взаємодії, партнерства з освітніми закладами та професійними спільнотами. Окремого значення набуває використання цифрових технологій для підтримки процесів управління робочою силою, професійної взаємодії та виконання роботи, включно з інструментами на основі штучного інтелекту.

Особливої актуальності набуває перехід від орієнтації на *посади до орієнтації на роботу, завдання та компетентності*. Традиційна модель передбачає відносно стабільний зв'язок між посадою, набором функцій і працівником, який її обіймає. Натомість екосистемний підхід передбачає розгляд роботи як сукупності завдань, виконання яких може забезпечуватися різними категоріями внутрішніх і зовнішніх учасників. Такий підхід створює передумови для гнучкішого комбінування компетентностей, перерозподілу роботи та використання різних джерел трудового потенціалу відповідно до характеру завдань і стратегічних потреб організації.

За такого підходу одна й та сама компетентність може бути необхідною для виконання завдань у різних структурних підрозділах і функціональних ролях, тоді як реалізація складного стратегічного завдання може потребувати поєднання компетентностей працівників організації, зовнішніх фахівців та технологічних засобів. Отже, ефективність використання талантів дедалі більшою мірою визначається не лише якісними характеристиками окремого працівника, а здатністю організації створювати умови для мобілізації та поєднання різних джерел компетентностей.

Водночас такий підхід не означає відмови від індивідуального розвитку працівників або традиційних практик управління талантами. Навпаки, вони стають складовими ширшої системи, у межах якої індивідуальний розвиток, формування кадрового резерву, професійна мобільність, залучення зовнішніх фахівців та використання технологій мають бути пов'язані з єдиною логікою забезпечення стратегічних потреб організації. Відповідно, трансформація полягає не у заміні управління талантами екосистемним підходом, а в розширенні його меж і зміщенні акценту від управління окремими категоріями працівників до координації різних джерел компетентностей.

Отже, розвиток талантів доцільно розглядати не як відокремлену функцію управління персоналом, а як інтегровану систему формування організаційної спроможності реалізовувати стратегічні зміни. У такому розумінні цінність таланту визначається не лише індивідуальними характеристиками працівника або його поточною результативністю, а передусім можливістю відповідних компетентностей забезпечувати виконання стратегічно важливих завдань організації.

Таким чином, трансформація підходів до розвитку талантів характеризується переходом від переважно внутрішньоорганізаційного управління окремими працівниками до системного формування та екосистемного забезпечення організації необхідними компетентностями. Такий перехід охоплює не лише розширення кола потенційних джерел талантів, а й зміну принципів їх взаємодії, механізмів розвитку, способів розподілу роботи та ролі цифрових технологій у формуванні організаційної спроможності.

Узагальнюючи наведені положення, екосистему талантів доцільно розглядати як організаційну систему, що поєднує внутрішні та зовнішні дже-

рела людського потенціалу, процеси його розвитку й мобілізації, технологічні засоби та механізми координації відповідно до стратегічних потреб організації. У межах цього дослідження зазначене поняття розвиває і конкретизує ширшу концепцію *workforce ecosystem*, переносячи акцент на формування, розвиток, мобілізацію та комбінування компетентностей, необхідних для реалізації стратегії.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-54-61

ВОРОНKOBA Валентина Григорівна,

д-р філос. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0002-0719-1546

НІКІТЕНКО Віталіна Олександрівна,

д-р. філос. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0001-9588-7836

ОГЛОБЛІНА Вікторія Олександрівна,

канд. екон. наук, доцент,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0001-6627-0255

ПУНЧЕНКО Наталія Олегівна,

канд. техн. наук, доцент,
Міжнародний університет
ORCID iD: 0000-0003-1382-4490
Україна

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ТУРБУЛЕНТНОСТІ: ВІД INDUSTRY 4.0 ДО MANAGEMENT 5.0

Актуальність теми зумовлена фундаментальною цифровою трансформацією сучасного менеджменту, за якої цифрові технології перестають бути лише інструментом автоматизації та перетворюються на інфраструктурну основу прийняття управлінських рішень, організаційної адаптації, інноваційного розвитку та забезпечення стійкості. Сучасна цифрова реальність актуалізує нову управлінську реальність, у якій штучний інтелект, ве-

ликі дані, хмарні платформи, цифрові двійники, алгоритмічна аналітика, Internet of Things, блокчейн та генеративний ШІ інтегруються в стратегічні, операційні та комунікаційні процеси. Цивілізаційний злам змінює традиційну логіку управління: від управління на основі минулого досвіду – до data-driven та AI-driven management, від лінійного планування – до адаптивного й прогнозного управління, від централізованих ієрархій – до цифрових мережових екосистем¹.

Нелінійність соціально-економічного розвитку актуалізує синергію цифровізації та антикрихкості, оскільки в умовах геополітичних, економічних, технологічних та соціальних потрясінь організаціям недостатньо лише зберігати стабільність, особливо в умовах невизначеності та турбулентності – переходу від industry 4.0 до management 5.0. У просторі постмодерної трансформації управління цифрові системи управління мають забезпечувати здатність адаптуватися до змін, навчатися на кризових ситуаціях, швидко перебудовувати бізнес-процеси та використовувати невизначеність як джерело інноваційних можливостей. Цифрова епоха радикально трансформує менеджмент, який не може розглядатися виключно через призму технологічної ефективності. Технологічна динаміка XXI століття трансформує необхідність поєднання цифрової інноваційності, людиноцентричності, етичності, кібербезпеки, цифрової довіри та сталого розвитку². Глобальна турбулентність актуалізує застосування ШІ у менеджменті та вимагає алгоритмічної прозорості, відповідальності за автоматизовані рішення, захисту даних, збереження людської автономії та формування нової культури взаємодії «людина – ШІ – організація – суспільство». Суспільство 5.0 формує принципово інше бачення цифрового менеджменту нового покоління, який доцільно розглядати як інтегровану управлінську парадигму, що поєднує: цифрові технології – штучний інтелект – дані – адаптивне управління – антикрихкість – людиноцентричність – сталий розвиток.

У горизонті технологічної сингулярності управлінських практик актуальність теми визначається необхідністю формування нової цифро-

1 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г. Штучний інтелект як драйвер економічної трансформації: стратегічні вектори розвитку. Education and science: theory&praxis : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С.69-82. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51919-2025-022-69-83>

2 Філософський код перемоги: освіта нових сенсів. Колективна монографія. За ред. В. Воронкової, В. Криж-ка. К. : ФОП Самченко А. М., 2026. 346 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/32196>

вої моделі менеджменту, здатної одночасно забезпечувати технологічну інноваційність, організаційну антикрихіть, стратегічну адаптивність, людський потенціал і довгострокову сталість у середовищі високої невизначеності та турбулентності³. *Мета дослідження* – проаналізувати теоретичні і практичні засади цифрової трансформації менеджменту в умовах невизначеності та турбулентності, що еволюціонує від INDUSTRY 4.0 до MANAGEMENT 5.0. *Предметом дослідження* є цифрова трансформація глобального менеджменту як соціального та економічного феномена.

Систематизація наукових підходів показує, що емерджентність складних систем актуалізує формування менеджменту нового покоління, що характеризується швидкими технологічними, геополітичними, економічними та соціальними змінами. У ситуації нестабільності, невизначеності, складності та неоднозначності традиційні лінійні моделі управління дедалі менше відповідають реаліям, що актуалізує перехід до адаптивного, гнучкого та людиноцентричного менеджменту⁴. Глобальний менеджмент нового покоління в умовах невизначеності та турбулентності є актуальним через фундаментальну зміну середовища функціонування сучасних організацій. У горизонті переходу від Industry 4.0 до гуманістично орієнтованого Management 5.0 цифрова економіка переходить від відносно прогнозованих моделей розвитку до нелінійного, мережевого, цифрового та багатофакторного середовища, у якому економічні, технологічні, геополітичні, соціальні та екологічні фактори взаємодіють одночасно.

У контексті трансформації суб'єктності менеджера менеджмент нового покоління має перейти від парадигми стабільності до парадигми адаптивності, від контролю – до координації, від жорстких ієрархій – до мережевих структур, від технологічно орієнтованого управління – до людиноцентричної синергії «людина – III – організація – суспільство». В умовах нестабільності, складності і неоднозначності сучасного світу вимагають особливого значення набувають штучний інтелект, цифрові платформи, аналітика да-

3 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Кивлюк О. П., Крупа А. Г., Слюсарь М. Ю. Теоретико-методологічні засади синергії штучного інтелекту та цифрового гуманізму та їх вплив на досягнення гуманітарної безпеки. Science and education: innovations and prospects : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2026. С. 151-166. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-152-166>

4 Горбуля М. А., Воронкова В. Г. Філософія ризику та антикрихіть фінансово-економічних систем як нова форма мислення у добу турбулентності (на основі праць Нассіма Талеба). Актуальні проблеми філософії та соціології. 2025. № 56. С. 32-40. DOI: <https://doi.org/10.32782/apfs.v056.2025.6>

них, ESG, стратегічна гнучкість, антикрихкість, управління людським капіталом та організаційна стійкість⁵.

Цифрова гібридизація управління формує нову концепцію менеджменту нового покоління за доби невизначеності та турбулентності, яка зумовлена фундаментальною трансформацією сучасного глобального середовища, для якого характерними є висока динамічність, нелінійність, геополітичні ризики, технологічні зміни, цифровізація, нестабільність глобальних ринків і трансформація моделей міжнародної взаємодії. У контексті формування нової філософії управління традиційні управлінські підходи, орієнтовані на прогнозованість, стабільність і довгострокове планування, дедалі частіше потребують доповнення механізмами адаптивності, гнучкості, антикрихкості та швидкого реагування на зміни⁶.

Особливого значення набуває штучний інтелект, який трансформує стратегічне планування, аналітику, прогнозування, управління персоналом, комунікації та прийняття управлінських рішень. Водночас технологічна трансформація актуалізує проблеми етики, відповідальності, прозорості алгоритмів, інформаційної безпеки та збереження людської суб'єктності. У просторі синергії людини та штучного інтелекту менеджмент нового покоління має формуватися не лише як технологічно ефективна, а й як людиноцентрична, етично відповідальна та соціально орієнтована система. Синергія людини та штучного інтелекту посилюється змінами у сфері людського капіталу: розвитком дистанційної та гібридної роботи, глобальних команд, конкуренцією за таланти, необхідністю постійного оновлення компетентностей. Адже алгоритмізація управлінських рішень повинна забезпечувати синергію людини, цифрових технологій, штучного інтелекту та організаційної культури.

Для України проблематика менеджменту нового покоління 5.0 набуває особливої ваги у контексті *європейської інтеграції*, повоєнного відновлення, цифрової трансформації економіки, залучення міжнародних інвестицій та інтеграції українських підприємств у глобальні ланцюги створення вартості.

5 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Кивлюк О. П., Крупа А. Г., Слюсарь М. Ю. Теоретико-методологічні засади синергії штучного інтелекту та цифрового гуманізму та їх вплив на досягнення гуманітарної безпеки. Science and education: innovations and prospects : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2026. С.151-166. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51995-2026-027-152-166>

6 Оглобліна, В., Воронкова, В., Загородній, С. (2026). Менеджмент збутової діяльності промислового підприємства в умовах ринкової конкуренції. Цифрова економіка та економічна безпека, (3 (24), 201-208. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.24-27>

сті. Отже, актуальність дослідження визначається необхідністю переходу від традиційного менеджменту стабільності до глобального менеджменту адаптивності, інноваційності, стійкості та людиноцентричності, здатного ефективно функціонувати в умовах постійної невизначеності, турбулентності, антикрихіеості⁷. Для України цей напрям додатково актуалізується необхідністю європейської інтеграції, повоєнного відновлення, цифрової модернізації та включення українських підприємств до нових глобальних ланцюгів створення вартості⁸.

Дослідження націлене на те, щоб розглянути, у чому полягає принципова відмінність між Industry 4.0 та Management 5.0? Industry 4.0 насамперед орієнтована на цифровізацію та автоматизацію виробничих і бізнес-процесів за допомогою IoT, Big Data, хмарних технологій, роботизації, кіберфізичних систем та штучного інтелекту. Її головним завданням є підвищення продуктивності, точності, швидкості та ефективності. Концепція Management 5.0 виходить за межі технологічної автоматизації. У центрі перебуває не технологія сама по собі, а людина та її взаємодія з інтелектуальними цифровими системами. III розглядається не тільки як інструмент автоматизації, а як когнітивний партнер менеджера. Логіка Industry 4.0 свідчить, що її умови поступово еволюціонують від Industry 4.0 до Management 5.0, а це означає, що «людина і III спільно створюють управлінські рішення».у цифрова трансформація стала необхідною умовою глобального менеджменту⁹.

Глобальні організації функціонують у середовищі високої взаємозалежності, швидких технологічних змін, геополітичних ризиків, нестабільності ринків, трансформації ланцюгів постачання та зростання інформаційних потоків.

Традиційні управлінські моделі, засновані на повільному плануванні, вертикальній ієрархії та стабільному середовищі, дедалі склад-

7 Горбуля М. Феномен фінансово-економічної стійкості як чинник сталого розвитку: соціально-філософський аналіз. *Вісник Львівського університету*. Серія філос.-політолог. студії. 2025. Випуск 63, с. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.30970/PPS.2025.63.7>

8 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г. Smart-perion як інноваційна основа формування стратегій сталого розвитку регіонів України у цифрову епоху. *Innovative Potential of Modern Science: Global Challenges and Solutions : Pproceedings of the 4th International Scientific and Professional Conference (Held in Chicago, USA | June 2–4, 2026) / Compiled by: V. Shpak, Chairman of the Editorial Board: S. Tabachnikov*. Sherman Oaks, CA: GS Publishing Services, 2026. 151 p. C.99–111. Available at: DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9935-42850-2026-33>

9 Voronkova, V., Nikitenko, V., Oleksenko, R., Metelenko, N., Ryzhova, I., Polishchuk, O., Ogloblina, V., & Kharchenko, D. (2026). From 5G to 7G: Technological catalysts for the evolution of future digital civilization. (Еволюція від 5G до 7G: технологічні каталізатори майбутньої цифрової цивілізації). *TEM Journal*, 15(2), 1035–1045. DOI: <https://doi.org/10.18421/TEM152-08> ISSN 2217-8309

ніше адаптувати до таких умов. Цифрові технології дають можливість отримувати інформацію в реальному часі, моделювати сценарії, прогнозувати зміни, швидко перерозподіляти ресурси та координувати глобальні команди. Тому цифрова трансформація – це вже не просто модернізація IT-інфраструктури, а зміна способу мислення, прийняття рішень і побудови організації. В умовах невизначеності менеджмент поступово відмовляється від припущення, що майбутнє можна точно передбачити. Замість цього використовуються сценарне планування, прогнозна аналітика, foresight, real-time monitoring, цифрові двійники та системи підтримки прийняття рішень на основі ШІ. Менеджер повинен не стільки передбачити єдиний майбутній сценарій, скільки сформувати організацію, здатну діяти за декількома можливими сценаріями. Тому ключовою компетентністю стає адаптивність: здатність швидко змінювати стратегію, структуру, ресурси й управлінські рішення відповідно до нової інформації.

Таблиця 1

**Цифрова трансформація глобального менеджменту:
від INDUSTRY 4.0 до MANAGEMENT 5.0**

Джерело: сформовано авторами

Ключовий аспект	Industry 4.0	Management 5.0	Розлоге обґрунтування трансформації
1	2	3	4
Філософія управління	Техноцентрична модель, орієнтована на автоматизацію виробничих і управлінських процесів	Людиноцентрична модель, у якій технології підпорядковуються розвитку людини, організації та суспільства	Перехід до Management 5.0 зумовлений тим, що сама технологічна ефективність уже не забезпечує комплексного розвитку організації. Цифрова трансформація повинна враховувати людську гідність, автономію, відповідальність, творчість, соціальну взаємодію та якість трудового життя.
Місце людини	Людина переважно виконує функцію оператора автоматизованих систем	Людина є центральним суб'єктом управління та співтворцем цифрових рішень	В умовах поширення ШІ змінюється характер праці: рутинні операції можуть автоматизуватися, тоді як значення критичного мислення, творчості, комунікації, етичного судження та стратегічного бачення зростає. Тому Management 5.0 орієнтується не на витіснення людини, а на розширення її можливостей.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Роль штучного інтелекту	Автоматизація, аналіз даних, прогнозування окремих процесів	Інтелектуальний партнер менеджера у формуванні та оцінюванні управлінських рішень	Генеративний та аналітичний ІІІ здатний обробляти значні інформаційні масиви, моделювати сценарії та формувати рекомендації. Водночас остаточною управлінська відповідальність потребує людського контролю, контекстного розуміння та етичної оцінки.
Прийняття управлінських рішень	Data-driven management	Human–AI collaborative decision-making	Цифрові дані стають основою рішень, але в складному та турбулентному середовищі самих даних недостатньо. Необхідне поєднання алгоритмічного аналізу з досвідом, інтуїцією, цінностями та відповідальністю менеджера.
Ставлення до невизначеності	Невизначеність розглядається переважно як ризик, який необхідно мінімізувати	Невизначеність розглядається також як джерело навчання, інновацій та адаптації	У глобальному середовищі неможливо усунути всі невизначені фактори. Тому організація має розвивати здатність функціонувати за різних сценаріїв, швидко отримувати нову інформацію та коригувати управлінські дії.
Турбулентність	Сприймається як зовнішнє порушення стабільності	Стає постійною характеристикою управлінського середовища	Глобальні технологічні, економічні, соціальні та геополітичні зміни скорочують горизонт прогнозування. Management 5.0 тому передбачає постійний моніторинг середовища, адаптивне планування, швидке експериментування та організаційне навчання.
Організаційна структура	Автоматизована ієрархічна структура	Гнучка, мережева, платформна та екосистемна структура	Цифрові платформи прискорюють горизонтальний обмін інформацією та дозволяють створювати кросфункціональні команди. Внаслідок цього організація поступово переходить від жорсткої вертикальної координації до мережевої взаємодії.
Менеджер	Контролер і координатор автоматизованих процесів	Архітектор взаємодії «людина–ІІІ–організація»	Менеджер більше не може бути лише адміністратором інформації, оскільки значну частину аналітичної роботи виконують цифрові системи. Його роль зміщується до стратегічного мислення, управління змінами, розвитку персоналу, інтерпретації інформації та відповідального використання ІІІ.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Дані	Дані використовуються переважно для моніторингу та оптимізації	Дані перетворюються на основу інтелектуального управління	Значення має вже не просто накопичення Big Data, а здатність перетворювати дані на знання, сценарії та управлінські рішення. Тому Management 5.0 потребує поєднання Data Analytics, AI та людської експертизи.
Антикрихкість	Основний акцент – на ефективності та стабільності	Здатність використовувати зміни та потрясіння для розвитку	Management 5.0 може поєднувати цифрову трансформацію з концепцією антикрихкості: організація не просто відновлюється після криз, а навчається на них, переглядає процеси та створює нові способи діяльності.
Інновації	Переважно технологічні інновації	Технологічні, організаційні, соціальні та управлінські інновації	Сучасна конкурентоспроможність визначається не лише впровадженням нових технологій. Важливо змінювати бізнес-моделі, організаційні процеси, компетентності, культуру та механізми взаємодії з клієнтами й партнерами.
Agile та адаптивність	Agile не є центральною характеристикою	Agile стає важливим принципом організації роботи	Турбулентне середовище потребує скорочення управлінських циклів. Команди повинні швидко тестувати рішення, отримувати зворотний зв'язок і коригувати дії. Це робить Agile важливою організаційною основою Management 5.0.
Цифрові екосистеми	Переважно окремі автоматизовані підприємства	Взаємопов'язані цифрові платформи, партнери, клієнти та інші учасники	Глобалізація та цифровізація посилюють взаємозалежність організацій. Конкурентна перевага дедалі частіше формується не ізольованою компанією, а мережею взаємодіючих суб'єктів.
Сталий розвиток	Додатковий напрям корпоративної діяльності	Інтегрований критерій цифрової трансформації	Management 5.0 передбачає оцінювання цифрових рішень не лише за економічною ефективністю, а й за соціальними та екологічними наслідками. Це дозволяє пов'язати цифровізацію з довгостроковою стійкістю організації.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Управління ризиками	Виявлення та мінімізація ризиків	Передбачення, адаптація та навчання на ризиках	ІІІ та аналітичні системи розширюють можливості раннього виявлення ризиків. Однак у складному середовищі неможливо усунути всі загрози, тому організація має розвивати здатність швидко адаптуватися до непередбачених подій.
Ключовий результат	Продуктивність та автоматизація	Адаптивність, людський потенціал, інноваційність, стійкість і сталий розвиток	Головна зміна полягає в розширенні критеріїв ефективності. Management 5.0 орієнтується не тільки на те, наскільки швидко й дешево працює система, а й на те, наскільки вона здатна створювати довгострокову цінність для людини, організації та суспільства.

Ключова ідея теми: Industry 4.0 автоматизує процеси – Digital Management цифровізує організацію – AI Management інтелектуалізує рішення – Management 5.0 гуманізує цифрову трансформацію – Antifragile Management 5.0 перетворює невизначеність і турбулентність на фактор організаційного розвитку¹⁰. Турбулентність характеризує середовище, у якому зміни є не лише швидкими, а й взаємопов'язаними, нелінійними та важко прогнозованими. Наприклад, технологічна зміна може одночасно вплинути на ринок праці, бізнес-модель, конкурентне середовище, логістику та організаційну культуру. У такому середовищі менеджмент переходить від логіки: «план – реалізація – контроль» до логіки: «моніторинг – інтерпретація – експеримент – адаптація – навчання – нове рішення».

Management 5.0 тісно пов'язаний з Agile, організаційним навчанням, цифровою аналітикою та адаптивними структурами. ІІІ стає одним із центральних елементів Management 5.0, оскільки здатний обробляти великі масиви інформації, виявляти закономірності, генерувати сценарії, прогнозувати тенденції та підтримувати менеджерів у складних рішеннях. Management 5.0 не передбачає простого заміщення менеджера алгоритмом. Йдеться про Human–AI Collaboration, тобто взаємодію людини та ІІІ, де: ІІІ обробляє великі масиви даних; алгоритм виявляє закономірності;

10 Ажажа М. А., Воронкова В. Г., Венгер О. М., Фурсін О. О., Дашков А. О. Формування нової парадигми публічного управління в епоху штучного інтелекту: від державного адміністрування до AI-орієнтованого governance. «Paradigm Shifts of the 21st Century: From Academic Theories to Practical Transformations». Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2026. С.111-127. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9935-42843-2026-028-110-127>

система формує можливі сценарії; менеджер оцінює контекст; людина враховує етичні, соціальні та ціннісні аспекти; остаточне відповідальне рішення залишається в людському контурі управління. Повна заміна менеджера не є сутністю Management 5.0¹¹.

Людиноцентричність означає, що цифрова трансформація оцінюється не лише за показниками продуктивності, прибутковості або автоматизації. До критеріїв додаються: добробут працівників; розвиток людського капіталу; цифрова інклюзивність; доступність технологій; професійний розвиток; автономія людини; цифрова безпека; довіра; етичність алгоритмів; відповідальність за управлінські рішення. Отже, технологія повинна відповідати не лише на питання «що можна автоматизувати?», а й на питання «що доцільно автоматизувати і як це вплине на людину?»¹². Цифровий гуманізм передбачає, що технологічний розвиток має здійснюватися з урахуванням людської гідності, свободи, автономії, відповідальності та соціальної справедливості. У менеджменті це означає перехід від техноцентричної до людиноцентричної цифрової трансформації. Перехід від ієрархічності до мережовості змінює систему AI-рекрутингу, яка може підвищити швидкість відбору персоналу, але Management 5.0 вимагає також оцінити можливі алгоритмічні упередження, прозорість критеріїв, захист персональних даних та можливість людського перегляду рішення. Таким чином, цифрова ефективність повинна поєднуватися з етичною відповідальністю.

Антикрихкість сучасних організацій сприяє переходу від жорстких вертикальних структур до більш мережових, гнучких, проектних та екосистемних моделей. Інформація перестає рухатися виключно вертикально. Цифрові платформи забезпечують горизонтальну взаємодію між підрозділами, командами, партнерами, клієнтами та іншими учасниками екосистеми. У результаті змінюється і роль менеджера: він дедалі менше виступає лише контролером і дедалі більше – координатором, фасилітатором, лідером змін та інтегратором людського й машинного інтелекту. Стійкість означає здатність системи витримувати потрясіння та відновлюватися після них.

11 Воронкова В., Ажажа, М., Венгер О., Фурсін О. Філософія цифрового управління як основа удосконалення сучасного суспільства у післявоєнному відновленні України. HUMANITIES STUDIES: збірник наукових праць / Голов. ред. В. Г. Воронкова. Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2026. Випуск 26 (103). С. 191-199. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2026-26-103-19>

12 Cherep A., Voronkova V., Cherep O., Tomareva-Patlakhova V., Gamova O., Mostenska T. Development of the Concept of Transformation of Social and Economic Processes in the Context of the Fourth Industrial Revolution. In: Mansour, N., Bujosa Vadell, L.M. (eds) Green Finance and Energy Transition. Contributions to Finance and Accounting. Springer, Cham (2024). P.103-113. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-75960-4_32

Антикрихкість передбачає більше: система використовує нестабільність, помилки, стрес і зміни як стимули для навчання та розвитку¹³. Для менеджменту це означає створення організацій, які не просто «переживають» кризу, а після неї стають більш адаптивними. Наприклад, цифрова система може дозволяти організації швидко тестувати альтернативні бізнес-моделі, аналізувати результати експериментів і масштабувати найбільш життєздатні рішення. Тому антикрихкий менеджмент можна представити як: невизначеність – експеримент – навчання – адаптація – інновація – розвиток¹⁴.

Як свідчить аналіз, методологія Agile відповідає потребі організації швидко реагувати на зміни. Її принципи – короткі цикли роботи, командна автономія, постійний зворотний зв'язок, експериментування та адаптація – добре узгоджуються з умовами турбулентності. Концепція Management 5.0 доповнюється цифровими технологіями та III¹⁵. Виникає модель: Agile + AI + Data Analytics + Human Intelligence = Adaptive Management. Це дає змогу швидше виявляти зміни, перевіряти гіпотези та коригувати управлінські рішення. В Industry 4.0 дані передусім забезпечують моніторинг та оптимізацію процесів. У цифровому менеджменті вони стають основою data-driven decision-making. У Management 5.0 відбувається подальший перехід до intelligence-driven management, коли дані проходять декілька рівнів трансформації: Data – Information – Knowledge – Intelligence – Decision – Action – Learning¹⁶.

При цьому принципово важливим залишається питання якості даних. Навіть найскладніша AI-система не гарантує якісного рішення, якщо дані неповні, упереджені або неправильно інтерпретовані. Менеджер нового покоління поступово переходить від ролі адміністратора і контролера до ролі архітектора цифрової та людської взаємодії. Він повинен поєднувати: цифрові компетентності + AI literacy + стратегічне мислення + критичне

13 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г. Синергетична аналітика штучного інтелекту та Big Data для виявлення ризиків у системі економічної безпеки держави. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2026. Випуск 2(23). DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.23-3>

14 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Слюсарь М. Ю. Модель взаємодії штучного інтелекту та цифрового гуманізму як інструмент забезпечення гуманітарної безпеки та сталого розвитку у повоєнному відновленні України. *ЛьВІВ: Вісник Львівського університету, серія філософсько-політологічні студії*. 2026 № 64. С.46–56. DOI: <https://doi.org/10.30970/PPS.2026.64.5>

15 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г. Штучний інтелект як драйвер економічної трансформації: стратегічні вектори розвитку. Education and science: theory&praxis : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С.69–82 DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51919-2025-022-69-83>

16 Воронкова В. Г., Ажажа М. А., Фурсін О. О. Цифровізація публічного управління як драйвер трансформації державних інституцій у цифровому суспільстві. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2026. №1. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2156.2026.1.7>

мислення + етичну відповідальність + комунікативні навички + здатність до управління змінами.

Особливого значення набуває здатність критично оцінювати рекомендації ШІ, оскільки алгоритмічна відповідь не повинна автоматично сприйматися як управлінська істина. Постмодерна управлінська реальність характеризується тим, що цифрові технології можуть сприяти оптимізації ресурсів, енергоефективності, прогнозуванню ризиків, розвитку циркулярної економіки та зменшенню операційних витрат. Але сама цифровізація автоматично не гарантує сталості. Концепція Management 5.0 передбачає інтеграцію економічних, соціальних, технологічних та екологічних цілей. Тому сучасну управлінську модель можна представити як баланс: Economic Value + Social Value + Human Value + Environmental Value. Саме це перетворює цифрову трансформацію з інструменту підвищення ефективності на механізм довгострокового сталого розвитку¹⁷.

Концепцію Management 5.0 доцільно розглядати як інтегровану соціотехнічну систему, у якій цифрові технології не відокремлені від людських, організаційних і суспільних процесів. Її концептуальне ядро можна сформулювати так: людина – ші – організація – цифрова екосистема – суспільство¹⁸. На цій основі формуються шість взаємопов'язаних принципів: AI – інтелектуалізація управління; Human-centeredness – пріоритет людини; Agility – організаційна гнучкість; Resilience – здатність протистояти потрясінням; Antifragility – розвиток через невизначеність; Sustainability – довгострокова економічна, соціальна та екологічна цінність. Тому головна трансформація від Industry 4.0 до Management 5.0 полягає не просто у переході до більш досконалих технологій. Йдеться про зміну самої філософії управління: від управління автоматизованими процесами – до управління складними цифровими екосистемами, де людський інтелект і штучний інтелект взаємодіють для формування адаптивних, стійких, інноваційних та людиноцентричних організацій¹⁹.

17 Воронкова В. Г., Шило Г. М., Нікітенко В. О. Модель адаптивної, самоорганізованої та етично збалансованої системи гуманітарної безпеки. Одеса, *Актуальні проблеми філософії та соціології*. 2026. № 58. С. 62-69. DOI: <https://doi.org/10.32782/apfs.v058.1.2026.11>

18 Метеленко Н. Г., Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Оглобліна В. О., Белоконь К. В. Синергія цифровізації та екологічної стійкості: моделі впровадження зелених технологій у регіональний розвиток. Education and science: theory&praxis : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С. 50-68. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9917-51919-2025-022-50-68>

19 Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Шило Г. М. Синергія штучного інтелекту, цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки як нова концепція майбутнього розвитку цифрової цивілізації. Передові

Цифрова трансформація змінює саму парадигму менеджменту – від переважно технологічно орієнтованої моделі Industry 4.0 до людиноцентричної, інтелектуальної та соціально відповідальної моделі Management 5.0. Industry 4.0 створила технологічний фундамент нового менеджменту, інтегрувавши штучний інтелект, Інтернет речей, Big Data, хмарні технології, роботизацію, цифрові платформи та кіберфізичні системи в управлінські процеси. Management 5.0 розширює технологічну логіку Industry 4.0, переводячи акцент із цифровізації процесів на синергію «людина – штучний інтелект – організація – суспільство»²⁰. Технологія розглядається не як самоціль, а як інструмент розвитку людського потенціалу.

В умовах невизначеності, криз, геополітичних змін і турбулентності традиційні лінійні моделі управління поступаються місцем адаптивним, гнучким, мережевим та антикрихким управлінським системам. Штучний інтелект стає стратегічним ресурсом глобального менеджменту, оскільки забезпечує аналітику великих масивів даних, прогнозування сценаріїв, підтримку управлінських рішень, персоналізацію та автоматизацію операцій. Водночас остаточно відповідальність за управлінські рішення має залишатися в людському контурі.

Ключовою характеристикою концепції Management 5.0 стає людиноцентричність, що передбачає врахування гідності людини, її автономії, творчості, компетентностей, цифрових прав, безпеки та можливості контролювати технологічне середовище. Цифрова трансформація формує нову архітектуру глобальної організації, у якій поєднуються цифрові платформи, інтелектуальні системи, розподілені команди, екосистемна взаємодія, віддалена праця та мережеві форми координації. Важливою умовою переходу до Management 5.0 є цифрова компетентність менеджера нового покоління – здатність працювати з AI, даними та цифровими платформами одночасно з критичним мисленням, етичною відповідальністю, комунікативністю та стратегічним баченням. У глобальному середовищі цифрова трансформація має поєднуватися з

технології в інформаційно-комунікаційній інженерії (ATICE'2026) : матеріали IV міжнар. конф. (м. Одеса, Україна, 16 липня 2026 р.) / від. за вип.: Н. Пунченко, Д. Розенвассер. Одеса : Міжнар. ун-т, 2026. С. 125-131 DOI: <https://doi.org/10.32837/11300.33747>

20 Воронкова В. Г., Череп А. В., Нікітенко В. О., Череп О. Г. Штучний інтелект та його атрибути: умови поліпшення функціональності та взаємодії з користувачами. Actual problems of education and science in the conditions of war : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks California : GS Publishing Services, 2023. С. 39-55. DOI : <https://doi.org/10.51587/9798-9866-95969-2023-06>

кібербезпекою, інформаційною стійкістю, етикою алгоритмів, захистом даних і цифровою довірою, оскільки технологічна залежність одночасно створює нові управлінські можливості та нові ризики²¹.

Висновки. Перехід «Industry 4.0 → Management 5.0» доцільно розглядати не як просту зміну технологічних поколінь, а як філософсько-управлінський перехід від автоматизації до інтелектуальної синергії, у якій технології підсилюють, а не витісняють людську суб'єктність. Перспективною основою глобального менеджменту стає синергія цифровізації, штучного інтелекту, антикрихкості та сталого розвитку, що дозволяє організаціям не лише адаптуватися до потрясінь, а й використовувати зміни як джерело організаційного навчання та інновацій.

У парадигмі Management 5.0 як людиноцентричної відповіді на цифрову турбулентність формується нова людиноцентрична філософія глобального управління, що ґрунтується на синергії людини, штучного інтелекту, цифрових технологій, знань та організаційних інновацій і спрямована на формування адаптивних, антикрихких, етично відповідальних та сталих соціально-економічних систем в умовах невизначеності, турбулентності та цифрової трансформації²². У концептуальному вимірі Management 5.0 можна представити як перехід: від технологічно орієнтованого управління до людиноцентричного, інтелектуально-цифрового, етико-інноваційного та сталого управління. Його сутність розкривається через інтеграцію таких компонентів: Management 5.0 – це філософія управління майбутнього, у якій технологічний інтелект поєднується з людською суб'єктністю, етичною відповідальністю та стратегічним баченням сталого розвитку.

Результати аналізу свідчать, що у вимірі нової цифрової онтології Management 5.0 можна концептуалізувати як нову філософію глобального управління, де цифрові технології, AI, людський капітал, етичні принципи, інноваційність, стійкість і сталий розвиток інтегруються в єдину управлінську систему²³.

21 Екологічний менеджмент у системі цифрових інновацій сталого розвитку: стратегії для зеленої економіки, металургії та бізнесу / за ред. д. філос. н., проф. Воронкової В. Г., д.е.н., проф. Метеленко Н. Г. : Львів–Торунь : Liha-Pres, 2025. 742 с. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-542-9>

22 Воронкова В., Ажажа, М., Венгер О., Фурсін О. Філософія цифрового управління як основа удосконалення сучасного суспільства у післявоєнному відновленні України. HUMANITIES STUDIES: збірник наукових праць / голов. ред. В. Г. Воронкова. Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2026. Випуск 26 (103). С. 191-199. DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2026-26-103-19>

23 Voronkova V. Nikitenko V. Metelenko N., Silina I., Popova A. Slyusar M., Burashnikova O., Afonov R. Chapter 3. Synergy of digital technologies and green development and their impact on achieving a sustainable environment in the conditions of instability.. TRANSFORMATIONS OF NATIONAL ECONOMIES UNDER CONDITIONS OF INSTABILITY Collective monograph Edited by Tetiana Cherniavska. Tallinn Estonia. P. 73-111. DOI: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-6-9.ch3>

Сукупність проаналізованих даних засвідчує, що узагальнювальна формула: Industry 4.0 – цифровізація – AI та дані – людиноцентричність – антикрихкість – сталий розвиток – Management 5.0. Саме ця логіка дозволяє перейти від «розумної технології» до «розумної, людиноцентричної та відповідальної системи управління».

У просторі глобальної турбулентності Management 5.0 доцільно визначати як синергетичну парадигму управління, у межах якої людина, штучний інтелект, цифрові технології, організація та суспільство розглядаються як взаємопов'язані суб'єкти єдиної адаптивної системи, здатної до самоорганізації, інноваційного розвитку, подолання невизначеності та формування довгострокової економічної, соціальної й екологічної стійкості. У просторі самоорганізації складних соціально-економічних систем це визначення особливо узгоджується з логікою «людина – III – організація – суспільство – сталий розвиток», яка дозволяє розглядати Management 5.0 не просто як наступний етап цифровізації, а як філософсько-управлінську трансформацію самої природи управління.

У контексті цивілізаційного зламу, цифрової метаморфози та трансформації управлінської раціональності менеджмент вступає у нову фазу свого розвитку – від технологічно детермінованої логіки Industry 4.0 до людиноцентричної парадигми Management 5.0, де штучний інтелект, цифрові технології, людський капітал, етика, стійкість та інноваційність утворюють нову синергійну конфігурацію управління²⁴.

У просторі множинних реальностей, нелінійності, невизначеності та перманентної турбулентності традиційна управлінська парадигма втрачає свою монолітність і поступається місцем гібридній архітектурі менеджменту, у якій межі між людиною, штучним інтелектом, організацією та цифровим середовищем стають дедалі більш проникними.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-61-75

24 Воронкова В. Г. Пунченко Н. О. Роль штучного інтелекту у формуванні адаптивних та гнучких управлінських моделей в умовах глобальної невизначеності. Менеджмент ХХІ століття : глобалізаційні виклики : матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції, 23 квітня 2026 р. Полтава: ПДАУ, 2026. С.442-448. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/067ce-a5c-b1ca-4da6-b20d-fea242a4376c/content>

Oleksandr LESKO,

Candidate of Economic Sciences,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0000-0003-3716-9822

Anton SHAMANSKYI,

Student,
Vinnytsia National Technical University
Ukraine

INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR MANUFACTURING PROCESSES

A modern industrial enterprise operates as a complex manufacturing system in which technological operations, material flows, equipment, personnel, and information resources interact in real time. The expansion of product ranges, shorter product life cycles, and higher requirements for quality and energy efficiency are changing approaches to production organization. Traditional control systems based mainly on fixed rules and operator response increasingly fail to provide the required speed of adaptation. For this reason, a central direction of digital transformation is the development of intelligent control systems for manufacturing processes that can accumulate data, interpret the current state of production assets, forecast the development of situations, and generate well-founded control actions.

An intelligent control system for manufacturing processes should be regarded not as a separate software product, but as a multilevel complex of hardware, software, and information components. Its lower level is formed by sensors, controllers, machine tools, robots, transport systems, and actuators. The intermediate level provides data acquisition, synchronization, and contextualization, while the upper level performs analytics, forecasting, optimization, and decision support. An important component is the digital twin of a manufacturing asset or process; for this concept, the international standard ISO 23247-1:2021 defines the general principles and requirements for building an appropriate framework model in manufacturing.¹

¹ ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles. Geneva: International Organization for Standardization, 2021. 12 p.

The aim of this work is to systematize the methods and architectural principles used to build intelligent control systems for manufacturing processes and to identify areas of their practical application in planning, operational dispatching, quality control, maintenance, equipment diagnostics, and improvement of production resilience. Particular attention is paid to the integration of the Industrial Internet of Things, digital twins, artificial intelligence methods, predictive analytics, and integration with MES, SCADA, and ERP systems.

The effectiveness of intelligent control is largely determined by the architecture that ensures coordinated interaction between physical equipment and digital services. A multilevel organization is the most appropriate approach, with each level performing a limited set of functions and having clearly defined interfaces with other levels. The physical level contains technological equipment and primary measuring devices. The local control level executes deterministic regulation and protection algorithms. The communication level provides data transmission, while the information and analytics level forms an integrated view of the production state. The upper level implements intelligent procedures for optimization, forecasting, and decision support.

Source: developed by the authors.

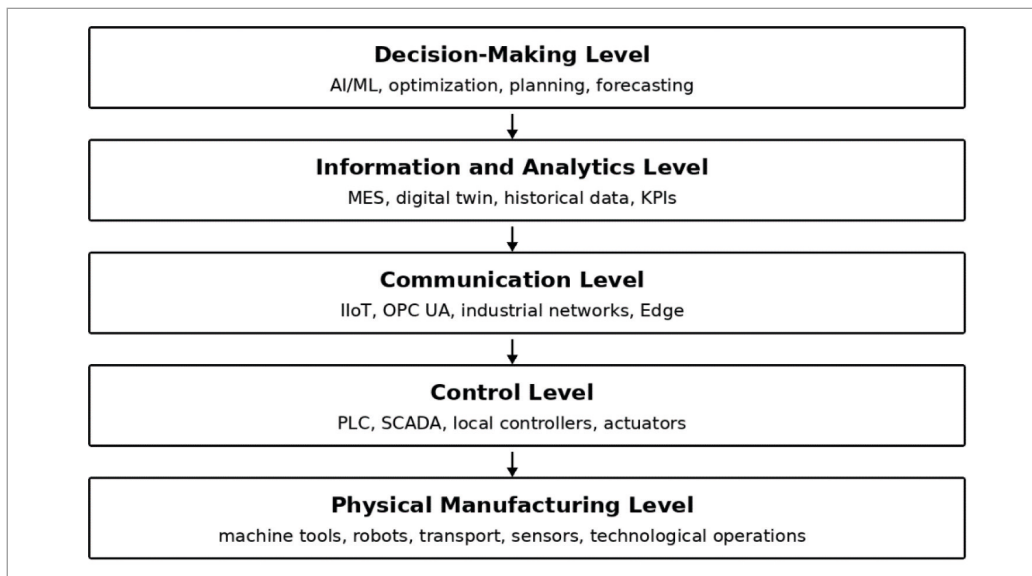


Fig. 1. Generalized architecture of an intelligent control system for manufacturing processes

A fundamental requirement is the separation of functions according to time criticality. Tasks for which the acceptable delay is measured in milliseconds

should be executed on PLCs or edge nodes. Production planning, demand forecasting, maintenance scheduling, and training of machine-learning models may be performed at the server or cloud level. This approach reduces network latency, improves fault tolerance, and allows the system to scale without transferring all functions to a single computing node.

In practical systems, the boundaries between levels are not rigid. For example, an edge platform may simultaneously collect data, filter signals, diagnose anomalies, and transmit aggregated results to the MES. The key feature of an intelligent architecture is not the location at which a particular algorithm is executed, but the presence of a closed loop: “measurement – analysis – forecast – decision – control action – verification of results.”

Data are the fundamental resource of intelligent control. On the shop floor they are generated by sensors measuring temperature, vibration, pressure, current, voltage, flow rate, position, speed, force, torque, and other parameters. These data are supplemented by PLC and SCADA logs, parameters of technological programs, maintenance-system records, quality-control results, information on material batches, and production orders. Large data volumes alone do not create intelligence; procedures are required for time synchronization, quality checking, normalization, contextualization, and linking measurements to a specific product, operation, or item of equipment.

The Industrial Internet of Things provides systematic connectivity between equipment and the information environment. In a modern architecture, analytical services should not depend directly on a specific controller or protocol. Gateways, unified data models, and service interfaces are therefore used. Edge computing is especially important for high-frequency signals because transmitting raw vibration or acoustic data to the cloud may create excessive network load. At the edge, it is appropriate to perform filtering, spectral analysis, feature extraction, primary state classification, and data compression.

The quality of analytics directly depends on the quality of the data. Manufacturing systems are characterized by missing measurements, sensor drift, changes in operating modes, tool replacement, machine reconfiguration, and uneven loading. The system must therefore monitor the validity of telemetry and distinguish technological changes from signs of malfunction. It is advisable to store not only parameter values but also metadata: time, source, units of

measurement, operating mode, batch identifier, product type, and version of the technological program.

Manufacturing data have different life cycles. Operational values are used for seconds or minutes, historical data are used for model training and trend analysis, while reference and regulatory information may remain relevant for years. An intelligent system must support these modes simultaneously while ensuring traceability, versioning, and reproducibility of calculations. This provides the information foundation for forecasting algorithms and digital twins.

The functionality of intelligent systems is determined by a set of models that transform manufacturing data into state estimates and control recommendations. Statistical models, regression methods, decision trees, ensemble algorithms, and neural networks are used for time-series forecasting. Classification and computer vision are applied in quality-control tasks; anomaly-detection methods and failure-probability estimation are used in diagnostics; and mathematical optimization is combined with heuristic algorithms in operational planning. The choice of method should be determined not by the popularity of a technology, but by the structure of the task, the amount of available data, response-time requirements, and the cost of an error.

Manufacturing processes differ from typical information-processing tasks in that an incorrect decision can damage equipment, produce defective products, or compromise safety. A model therefore should not directly replace basic protection loops. In practice, a multilevel scheme is appropriate: a deterministic controller maintains a safe operating mode, a machine-learning model estimates a hidden state or predicts an outcome, and a decision-support module generates a recommendation within permissible technological constraints.

Model drift is a separate problem. After equipment modernization, changes in raw materials, or changes in technological modes, the statistical distribution of data may change. A model that was accurate at the deployment stage can gradually lose quality. The life cycle of an intelligent system should therefore include accuracy monitoring, automated drift detection, accumulation of new samples, and controlled retraining. For critical tasks, it is advisable to retain the previous model version and provide the possibility of rapid rollback.

From an operational perspective, explainability is important. It is not enough for a supervisor or process engineer to receive a warning about the risk of defects; the system should show which parameters had the greatest influence

on the conclusion, how the indicator changed over time, and which technological constraints were taken into account. Combining a predictive model with domain rules increases staff confidence and facilitates verification of decisions.

One of the most economically significant applications of intelligent control is operational and calendar-based production planning. The classical task is to distribute orders among equipment while taking into account operation durations, due dates, changeovers, and the availability of tools, personnel, and materials. In real production, the initial plan is almost immediately affected by emergency stoppages, deviations in operation duration, urgent orders, or supply delays. The system should therefore not only generate an initial schedule, but also rebuild it promptly when the state of production changes.

Exact mathematical-programming methods can be used for small tasks, but computational complexity increases rapidly as the number of operations grows. Practical systems use heuristics, genetic algorithms, simulated annealing, tabu search, multicriteria optimization, and reinforcement learning. The optimization objective must reflect the actual priorities of the enterprise. Minimizing only batch completion time may reduce energy efficiency or increase the number of changeovers. It is therefore advisable to use a comprehensive criterion that accounts for due dates, utilization, downtime, energy consumption, work in progress, and schedule stability.

Intelligent dispatching should operate according to an event-driven principle. A recalculation may be triggered by equipment failure, an operation exceeding the permissible duration, the appearance of an urgent order, a change in batch priority, or a shortage of materials. The system does not necessarily need to rebuild the entire production plan. Local optimization over a limited planning horizon is often more practical because it preserves the stability of personnel work and adjacent production areas.

The decisions of the planning module should be integrated with MES and ERP systems. The ERP system defines orders, material requirements, and economic constraints; the MES reflects the actual state of operation execution; and the intelligent module generates a refined schedule. Closing this loop makes it possible to move from periodic manual replanning to adaptive control that considers the current state of production.

A digital twin is one of the key mechanisms for moving from production monitoring to model-oriented control. It combines a digital representation of

a physical asset, current data describing its state, and simulation algorithms. Unlike a static simulation model, a digital twin is systematically updated using data from the real asset and can be used to analyze alternative scenarios. In manufacturing, twins may be created for individual components, machine tools, robotic cells, production lines, or entire enterprises.

The practical value of a digital twin lies in the ability to assess the consequences of a decision before applying it to the physical asset. For example, before changing cutting conditions, the load on the tool and the expected surface quality can be forecast; before rescheduling, queues between operations can be evaluated; before maintenance, the effect of equipment shutdown on order fulfillment can be simulated. In the work of G. Shao and M. Helu, the digital twin is considered an important component of smart manufacturing, while a standardized framework is viewed as a condition for component reuse and interoperability.²

Correct operation of a digital twin requires synchronization with the physical asset. The update frequency depends on the purpose of the model. For operational control, it may be measured in seconds; for maintenance planning, in minutes or hours; and for strategic optimization, the interval may be even longer. Excessive model detail is not always useful because it increases computational cost and data requirements. The required level of accuracy should therefore correspond to the specific management task.

An intelligent digital twin combines physical laws with data-driven models. A physical model provides interpretability and correct behavior outside the training sample, while a machine-learning model can compensate for unmodeled factors or reduce computation time. This hybrid approach is particularly promising for complex technological processes in which a complete mathematical description is too expensive or incomplete.

Traditional maintenance strategies are based either on eliminating the consequences of failure or on scheduled work performed at a predetermined interval. The first approach results in unplanned downtime, while the second leads to unnecessary replacements and costs. Predictive maintenance uses the actual condition of equipment and degradation models to estimate failure risk and remaining useful life. The systematic review by R. van Dinter, B. Tekinerdogan, and C. Catal shows that digital twins are actively used as a basis

² Shao G., Helu M. Framework for a digital twin in manufacturing: Scope and requirements. *Manufacturing Letters*. 2020. Vol. 24. P. 105-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.04.004>

for predictive maintenance, while computational load, model complexity, and data heterogeneity remain key challenges.³

A typical predictive-maintenance cycle consists of signal acquisition, pre-processing, feature extraction, condition assessment, degradation forecasting, and intervention planning. For rotating equipment, vibration spectra, bearing temperature, and current signals are important. For machine tools, drive load, acoustic emission, surface quality, and tool-use history should be monitored. In robotic systems, positioning errors, drive currents, cycle time, and trajectory repeatability are analyzed.

A forecast has practical value only when it is integrated with production planning. If the model identifies an increased risk of failure, the system should determine when the equipment should be stopped, whether orders can be transferred to another resource, and whether spare parts are available. Intelligent maintenance thus becomes not an isolated function of the repair department but an element of overall manufacturing-capacity management.

To reduce the number of false alarms, multichannel confirmation of anomalies should be used. Exceeding a single parameter does not always indicate a malfunction; a more reliable conclusion is obtained by considering the operating mode, load, and related signals. An additional mechanism is the introduction of confidence levels: a low level initiates observation, a medium level initiates a diagnostic check, and a high level initiates maintenance planning or a safe shutdown.

Quality control in intelligent manufacturing is shifting from final inspection of finished products to continuous process monitoring. This makes it possible to detect a trend toward defects before a significant quantity of defective products is produced. Information sources may include machine-tool measuring systems, machine-vision cameras, laser scanners, cutting-force signals, temperature, vibration, and statistics from previous batches. Based on process parameters, the model estimates the probability of a defect or predicts an output quality indicator.

Automated fault diagnosis is an important direction. In modern smart-manufacturing systems, diagnostics is moving from simple thresholds to multimodel analysis that takes into account relationships among subsystems. J. Aldrini, I. Chihi, and L. Sidhom systematized approaches to fault detection

³ van Dinter R., Tekinerdogan B., Catal C. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 2022. Vol. 151. Art. 107008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107008>

and diagnosis and self-healing for smart manufacturing and showed that system resilience requires the combined use of fault-detection methods, cause localization, and corrective control.⁴

Self-healing should not be interpreted as the automatic elimination of every physical fault. In manufacturing practice, it often means process reconfiguration: switching to a backup unit, reducing the load, changing a batch route, adjusting parameters, or transferring equipment to a safe mode. Such behavior reduces the consequences of failure and provides time for organized technical intervention.

For quality management, it is advisable to combine the product model and the process model. If a system only classifies images of a finished part, it can detect a defect but cannot explain its technological cause. If inspection data are linked to operation parameters, material batch, tool, and machine, analysis of cause-and-effect relationships becomes possible. On this basis, recommendations can be generated for correcting the process mode and preventing recurrence of the defect.

The implementation of an intelligent system should be treated as an integration project. In most enterprises, ERP, MES, SCADA, maintenance systems, local databases of technological parameters, and quality-control tools are already in operation. Creating a parallel information circuit leads to duplicated data and conflicting decisions. Intelligent modules should therefore be connected to the existing architecture through formalized APIs, message brokers, and industrial protocols, while master data should have a clearly defined source of truth.

Cybersecurity is of particular importance. Connecting manufacturing equipment to analytical services increases the attack surface, while an incorrect control action can have physical consequences. The architecture should provide network segmentation, role-based access control, event logging, service authentication, backup, and model-integrity control. For critical loops, the ability to operate autonomously when an external analytical service is unavailable must be preserved.

Implementation effectiveness should be evaluated quantitatively. The main indicators include OEE, downtime duration, mean time between failures, mean time to repair, defect rate, work-in-progress level, on-time delivery, energy consumption per unit of output, and forecast accuracy. It is also advisable to

⁴ Aldrini J., Chihi I., Sidhom L. Fault diagnosis and self-healing for smart manufacturing: a review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2024. Vol. 35. P. 2441-2473. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02165-6>

measure the performance of the intelligent system itself: decision latency, false-alarm rate, retraining frequency, and the proportion of recommendations accepted by personnel.

Table 1

Examples of KPIs for evaluating intelligent control

Source: systematized by the authors.

Area	Indicator	Expected effect
Equipment	OEE, MTBF, MTTR	less downtime and higher availability
Quality	defect rate, FP/FN	earlier detection of deviations
Planning	cycle time, tardiness	more stable order fulfillment
Analytics	latency, accuracy	faster and more reliable decisions

A rational implementation of intelligent control should be carried out in stages. At the first stage, the business problem and the indicator to be improved are defined. At the second stage, an audit of data and equipment is performed, and the available signals, their quality, and update frequency are determined.

At the third stage, a prototype model is created using historical data and tested outside the production control loop. The model is then integrated in recommendation mode, in which a decision is confirmed by an operator or process engineer. Only after sufficient statistics have been accumulated and risks evaluated should individual functions be transferred to automatic operation.

The most common mistake is an attempt to cover the entire enterprise at once. It is considerably more effective to select a narrow but economically significant scenario: forecasting failure of a critical machine, automatic defect detection, optimization of order sequencing, or control of energy consumption. A successful local project creates a proven data architecture and builds staff confidence, after which the solution can be scaled to other production areas.

Intelligent control systems for manufacturing processes form the technological basis of adaptive production. Their advantage lies not only in the use of artificial-intelligence algorithms, but in combining measurement, digital representation of the manufacturing state, forecasting, optimization, and controlled actuation. An effective system should be integrated with MES, SCADA, and ERP, have a distributed architecture, and support digital twins, predictive maintenance, and intelligent quality control. At the same time,

deterministic safety mechanisms and the possibility of human participation in critical decisions must be preserved.

Further development is associated with hybrid models that combine physical laws with machine learning, adaptive rescheduling, self-diagnostics, and closer integration of digital twins with the production control loop.

The practical value of such systems will be determined not by algorithmic complexity, but by their ability to consistently improve measurable manufacturing performance at an acceptable level of risk and cost.

The future evolution of intelligent manufacturing control will depend on deeper integration of AI models with real-time operational data and digital-twin environments. Particular attention should be paid to adaptive decision-making mechanisms capable of responding to equipment degradation, changes in demand, and resource constraints without interrupting production continuity. The practical effectiveness of such systems will increasingly be determined by data quality, interoperability, cybersecurity, and the explainability of automated recommendations. A gradual implementation strategy based on measurable production indicators can reduce technological risks and simplify the transition from pilot solutions to enterprise-wide deployment. Consequently, intelligent control should be regarded not as a separate automation tool, but as an integrated management paradigm for improving the flexibility, reliability, and competitiveness of modern manufacturing.

In future implementations, particular attention should be paid to the interoperability of intelligent modules and the standardization of data exchange between production subsystems. The combination of explainable AI with digital twins can improve the transparency of recommendations and simplify their validation by engineering personnel. It is also important to develop adaptive mechanisms that can update control strategies as equipment conditions, production priorities, and resource constraints change. The consistent use of these principles will support the transition from isolated intelligent functions to integrated, resilient, and continuously improving manufacturing control systems.

СКЛЯРУК Тетяна Василівна,

канд. екон. наук, доцент,

Національний університет

«Львівська політехніка»

ORCID iD: 0000-0001-8890-9152

Україна

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ, ЦИФРОВИХ І СОЦІАЛЬНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ HR-ФАХІВЦІВ

Актуальність формування управлінських, цифрових і соціальних компетентностей майбутніх HR-фахівців зумовлена зміною ролі управління персоналом у діяльності організацій. Сучасний HR-фахівець бере участь не лише в доборі та кадровому супроводі працівників, а й у плануванні потреби в персоналі, його адаптації, навчанні, оцінюванні та розвитку. Виконання цих завдань потребує здатності аналізувати інформацію, ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення та вибудовувати ефективну взаємодію з людьми.

Цифровізація HR-процесів посилює вимоги до підготовки фахівців. Електронні системи добору, кадрові бази даних, інструменти HR-аналітики та платформи навчання дають змогу швидше опрацьовувати інформацію, проте їх використання потребує розуміння змісту показників, критичного оцінювання результатів і відповідального поведіння з персональними даними¹. Водночас технології не усувають потреби в соціальних компетентностях. Під час співбесід, адаптації, оцінювання та розв'язання конфліктів вирішальне значення мають комунікація, емпатія, дотримання професійної етики й уміння надавати зворотний зв'язок.

Проблема полягає в тому, що зазначені компетентності нерідко формуються в межах окремих навчальних дисциплін, тоді як у професійній діяльності вони застосовуються одночасно. Наприклад, для з'ясування причин плинності персоналу HR-фахівець має розрахувати й проаналі-

1 Кравчук О. І. Цифрова компетентність менеджера з персоналу. Соціально-трудові відносини: теорія та практика. 2018. № 1. С. 170–189. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/items/b2b148c4-3c78-43de-8953-d98b910fc07b> (дата звернення: 20.09.2026). Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. With New Examples of Knowledge, Skills and Attitudes. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2760/115376>.

зувати кадрові показники, поспілкуватися з працівниками, визначити організаційні причини проблеми та запропонувати керівництву обґрунтовані заходи. Успішне виконання такого завдання вимагає поєднання знань з економіки праці, менеджменту, психології, соціології та цифрових технологій.

За цих умов міждисциплінарний підхід є важливим для оновлення підготовки майбутніх HR-фахівців. Він передбачає узгодження змісту навчальних дисциплін навколо професійних завдань, застосування комплексних кейсів і проєктів, а також оцінювання здатності студентів використовувати знання з різних галузей для розв'язання однієї проблеми. Особливого значення набуває співпраця закладів вищої освіти з роботодавцями, яка допомагає враховувати реальні вимоги до роботи HR-фахівця під час розроблення навчальних завдань².

Отже, актуальність дослідження визначається потребою теоретично обґрунтувати та розробити підходи до інтегрованого формування управлінських, цифрових і соціальних компетентностей. Таке поєднання сприятиме підготовці майбутніх HR-фахівців до комплексного аналізу кадрових проблем, відповідального використання цифрових інструментів та ефективної взаємодії з працівниками й керівниками організацій.

Зміст професійної діяльності HR-фахівця розширюється разом зі зміною підходів до управління персоналом. Якщо кадрова робота переважно зосереджувалася на оформленні трудових відносин, веденні документації та обліку працівників, то сучасний HR-фахівець залучений до всього циклу роботи з персоналом: від визначення майбутньої потреби у працівниках до оцінювання результатів їхньої діяльності та планування розвитку. При цьому кадрове адміністрування залишається необхідною складовою роботи, але вже не охоплює всіх завдань фахівця.

Зміни пов'язані насамперед із тим, що підприємствам потрібно швидше знаходити працівників із відповідними компетентностями, утримувати їх, допомагати їм опановувати нові завдання та оцінювати результативність управлінських заходів (табл. 1). HR-фахівець має розуміти не лише потреби окремих працівників, а й цілі підрозділів та підприємства

2 Бутенко А., Денискіна Г., Єременко О., Книш О., Сімшаг І., Требенко О. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми : методичний посібник. Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. 127 с. URL: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/Роз'яснення-щодо-застосування-Критеріїв-оцінювання-якості-освітньої-програми.pdf> (дата звернення: 20.09.2026).

загалом. Тому його професійна підготовка повинна поєднувати знання з менеджменту, економіки праці, організаційної поведінки, психології, аналізу даних і цифрових технологій.

Таблиця 1

Чинники зміни вимог до HR-фахівця

Джерело: складено автором

Чинник	Як змінюється робота з персоналом	Які вміння стають необхідними
Зміна потреб підприємства в персоналі	Потрібно визначати не тільки кількість працівників, а й компетентності, необхідні для виконання майбутніх завдань	Прогнозування потреби в персоналі, аналіз посад і компетентностей
Дефіцит окремих професійних компетентностей	Пошук готового фахівця не завжди забезпечує підприємство потрібними навичками	Оцінювання компетентностей кандидатів, планування навчання та розвитку
Цифровізація HR-процесів	Частина інформації про кандидатів і працівників обробляється в електронних системах	Робота з HR-системами, аналіз даних, перевірка якості інформації
Потреба в утриманні працівників	Зростає значення умов праці, адаптації, розвитку та взаємодії з керівниками	Аналіз причин звільнення, розроблення заходів з адаптації та утримання
Зміни в організації праці	Команди можуть працювати в різних режимах і потребувати узгодженої взаємодії	Комунікація, координація, підтримка командної роботи
Потреба в обґрунтуванні HR-рішень	Керівництво очікує пояснення витрат і результатів заходів щодо персоналу	Розрахунок показників, інтерпретація результатів, підготовка рекомендацій

Розширення функцій HR-фахівця особливо помітне на окремих етапах роботи з персоналом. Наприклад, під час добору вже недостатньо лише опублікувати вакансію та провести співбесіду. Необхідно з'ясувати, які завдання виконуватиме майбутній працівник, визначити критерії оцінювання кандидатів, організувати взаємодію з керівником підрозділу та проаналізувати результативність обраних каналів пошуку. Аналогічно адаптація не обмежується ознайомленням новачка з правилами роботи: вона передбачає планування перших завдань, підтримку наставника, регулярний зворотний зв'язок та оцінювання входження працівника в посаду (табл. 2).

Таблиця 2

Основні напрями діяльності HR-фахівця, зміст завдань та очікувані результати

Джерело: складено автором

Напрямок роботи	Зміст професійного завдання	Очікуваний результат
Планування персоналу	Аналізувати чисельність працівників, навантаження, плинність і плани розвитку підприємства	Обґрунтована потреба в працівниках і компетентностях
Добір	Формувати вимоги до посади, оцінювати кандидатів, узгоджувати рішення з керівниками	Добір працівника відповідно до завдань посади
Адаптація	Розробляти план входження в посаду, визначати відповідальних і контрольні точки	Швидше освоєння працівником робочих завдань
Навчання та розвиток	Визначати прогалини в компетентностях, добирати навчальні заходи, оцінювати їх застосування на практиці	Розвиток навичок, потрібних для роботи
Оцінювання персоналу	Формувати зрозумілі критерії, збирати інформацію та надавати зворотний зв'язок	Підстава для рішень щодо розвитку, мотивації чи зміни завдань
Командна взаємодія	Допомагати керівникам налагоджувати комунікацію та виявляти причини робочих конфліктів	Узгодженіша робота підрозділів
HR-аналітика	Розраховувати кадрові показники та пояснювати їх зміну	Рекомендації для ухвалення управлінських рішень

Отже, сучасна професійна діяльність вимагає від HR-фахівця трьох взаємопов'язаних груп компетентностей: управлінських, цифрових і соціальних (табл. 3). Управлінські компетентності дають змогу визначити проблему та організувати її розв'язання. Цифрові допомагають зібрати й проаналізувати інформацію. Соціальні забезпечують взаємодію з кандидатами, працівниками та керівниками, без якої неможливо реалізувати навіть добре обґрунтоване рішення³.

³ Кравчук О. І. Цифрова компетентність менеджера з персоналу. Соціально-трудові відносини: теорія та практика. 2018. № 1. С. 170–189. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/items/b2b148c4-3c78-43de-8953-d98b910fc07b> (дата звернення: 22.09.2026). Sala A., Punie Y., Garkov V., Cabrera Giraldez M. LifeComp: The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2760/302967>. Кравчук О. І., Варіс І. О., Бідна Т. О. Цифрові технології рекрутингу персоналу. Маркетинг і цифрові технології. 2022. Т. 6, № 1. С. 92–110. URL: <https://mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/170> (дата звернення: 22.09.2026).

Таблиця 3

Зміст ключових компетентностей майбутнього HR-фахівця*Джерело: складено автором*

Група компетентностей	Що має вміти майбутній HR-фахівець	Приклад практичного результату
Управлінські	Планувати потребу в персоналі; організовувати добір, адаптацію та навчання; визначати критерії оцінювання; пропонувати й обґрунтовувати рішення керівництву	План добору персоналу, програма адаптації, пропозиції щодо розвитку працівників
Цифрові	Працювати з HR-системами й електронними даними; розраховувати кадрові показники; аналізувати та візуалізувати результати; перевіряти достовірність даних	Аналітичний звіт про плинність персоналу або дашборд кадрових показників
Соціальні	Проводити співбесіди; ставити запитання й слухати відповіді; надавати зворотний зв'язок; взаємодіяти з працівниками та керівниками; сприяти розв'язанню конфліктів	Структурована співбесіда, консультація керівника, план комунікації з новим працівником

Поділ компетентностей на групи є аналітичним: у реальній роботі вони застосовуються разом. Так, виявивши зростання плинності працівників, HR-фахівець спочатку перевіряє кадрові дані й розраховує показники, потім з'ясовує причини звільнень у розмовах із працівниками та керівниками, після чого пропонує зміни в адаптації, організації роботи або навчанні. Наявність лише однієї групи компетентностей не дасть змоги пройти весь цей шлях.

Таблиця 4

Поєднання компетентностей під час розв'язання HR-завдань*Джерело: складено автором*

Професійне завдання	Управлінський складник	Цифровий складник	Соціальний складник
1	2	3	4
Зменшення плинності персоналу	Розробити заходи з утримання працівників	Проаналізувати звільнення за підрозділами, стажем і причинами	Провести бесіди, отримати зворотний зв'язок від працівників і керівників

Продовження табл. 4

1	2	3	4
Організація адаптації новачків	Визначити етапи, завдання, відповідальних і критерії успішності	Вести електронний план адаптації та відстежувати виконання завдань	Підтримувати контакт із новачком і наставником
Планування навчання	Визначити пріоритетні компетентності та форми навчання	Узагальнити результати оцінювання і дані про проходження навчання	Обговорити потреби розвитку з працівниками й керівниками
Добір персоналу	Узгодити вимоги до посади й критерії вибору	Опрацювати дані про кандидатів і результативність каналів пошуку	Провести співбесіду та забезпечити коректну комунікацію з кандидатами
Оцінювання результатів роботи	Визначити показники й порядок оцінювання	Зібрати й зіставити результати за встановлений період	Надати зрозумілий зворотний зв'язок і погодити подальші дії

Для підготовки майбутніх HR-фахівців це означає необхідність переходу від вивчення окремих інструментів до виконання комплексних професійних завдань. Студент має не лише знати формулу коефіцієнта плінності чи етапи адаптації, а й уміти використати ці знання для аналізування ситуації на підприємстві, пояснити висновки керівникові та запропонувати здійсненні заходи. Саме тому поєднання управлінських, цифрових і соціальних компетентностей має стати одним із принципів побудови освітніх компонентів та оцінювання результатів навчання майбутніх HR-фахівців.

Управлінські, цифрові та соціальні компетентності майбутнього HR-фахівця формуються у взаємозв'язку, оскільки під час виконання професійних завдань їх необхідно застосовувати одночасно. Планування потреби в персоналі, добір, адаптація, навчання й оцінювання працівників потребують не лише організації відповідних процесів, а й аналізу кадрових даних та ефективної взаємодії з людьми. Взаємозв'язок зазначених груп компетентностей і результат їх інтегрованого застосування подано на рис. 1.

Як бачимо з рис. 1, кожна група компетентностей забезпечує окремий складник професійної діяльності HR-фахівця: управлінські дають змогу

планувати й організовувати роботу з персоналом, цифрові – аналізувати інформацію та обґрунтовувати рішення, соціальні – налагоджувати взаємодію з кандидатами, працівниками й керівниками. Їх поєднання дає змогу переходити від виконання окремих кадрових процедур до комплексного розв'язання проблем у сфері управління персоналом. Тому підготовка майбутніх HR-фахівців має передбачати навчальні завдання, у яких студенти застосовують усі три групи компетентностей для аналізу ситуації та розроблення практичних рекомендацій.

Джерело: розроблено автором



Рис. 1. Взаємозв'язок управлінських, цифрових і соціальних компетентностей у професійній діяльності HR-фахівця

Міждисциплінарний підхід передбачає застосування знань із різних дисциплін для розв'язання одного професійного завдання. Економіка праці допомагає виміряти кадрові процеси, менеджмент – організувати роботу й обрати рішення, психологія – зрозуміти поведінку працівників, а цифрові технології – опрацювати та представити дані. Важливо, щоб студент умів поєднати ці знання, а не лише відтворити їх окремо⁴.

⁴ Волобосова І., Кравчук О., Паращук Є. Універсальна модель компетентностей для роботи у дистанційному режимі. Економіка та суспільство. 2021. № 25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-36>. Кравчук О. І., Варіс І. О., Бідна Т. О. Цифрові технології рекрутингу персоналу. Маркетинг і цифрові технології. 2022. Т. 6, № 1. С. 92–110. URL: <https://mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/170> (дата звернення: 22.09.2026).

Наприклад, для зниження плинності персоналу спочатку потрібно визначити, серед яких працівників і в яких підрозділах звільнення трапляються найчастіше. Далі – з'ясувати їхні причини за допомогою бесід, опитувань та аналізу умов роботи. Лише після цього можна запропонувати зміни в доборі, адаптації, організації праці чи розвитку персоналу й оцінити їхні результати (табл. 5).

Таблиця 5

**Внесок різних галузей знань у розв'язання
проблеми плинності персоналу**

Джерело: розроблено автором

Галузь знань або навчальна дисципліна	Що дає для аналізу HR-проблеми	Приклад застосування
Економіка праці	Методи аналізу чисельності, руху персоналу, використання робочого часу та продуктивності праці	Розрахунок показників прийняття, звільнення та плинності персоналу
Управління персоналом	Підходи до планування, добору, адаптації, оцінювання та розвитку працівників	Розроблення програми адаптації для нових працівників
Менеджмент	Методи постановки цілей, розподілу відповідальності та оцінювання результатів управлінських рішень	Визначення відповідальних за виконання заходів зі зменшення плинності
Психологія та організаційна поведінка	Розуміння мотивації, сприйняття умов праці, взаємодії в команді та причин конфліктів	Аналіз відповідей працівників під час бесід щодо причин звільнення
Трудове право	Розуміння правових умов реалізації кадрових рішень	Перевірка відповідності запропонованих змін умов праці законодавчим вимогам
Інформаційні технології та аналіз даних	Засоби збирання, перевірки, групування й подання кадрової інформації	Побудова таблиці або діаграми звільнень за підрозділами та стажем роботи

Отже, логіка міждисциплінарної роботи охоплює чотири послідовні дії: виміряти проблему, з'ясувати причини, обрати заходи та оцінити результат, що дозволяє майбутньому HR-фахівцю відрізнити підтверджені даними факти від припущень і пропонувати обґрунтовані рішення.

Для формування управлінських, цифрових і соціальних компетентностей доцільно використовувати завдання, наближені до професійної ді-

яльності. Студенти можуть аналізувати кадрові ситуації, працювати зі знеособленими даними підприємств, моделювати співбесіди та розробляти програми адаптації. Кожне завдання має завершуватися конкретним результатом, який можна оцінити: аналітичною запискою, планом добору, висновком щодо кандидата чи програмою адаптації⁵.

Під час виконання кейсу студент має розмежовувати факти, можливі причини та рекомендації. Наприклад, висока частка звільнень у перші місяці роботи є фактом, який підтверджують кадрові дані. Недостатня підтримка новачків може бути причиною, яку потрібно перевірити. Запровадження наставництва – можливий захід, доцільність якого слід обґрунтувати результатами аналізу.

Оцінювати виконані завдання варто за трьома складниками: обґрунтованістю управлінського рішення, коректністю роботи з даними та якістю професійної комунікації. Такий підхід показує, чи здатний студент поєднати набуті знання для розв'язання реальної HR-проблеми.

Оцінювання підготовки майбутніх HR-фахівців доцільно будувати на виконанні комплексних професійних завдань. Відтворення визначень і послідовності HR-процедур підтверджує засвоєння теоретичного матеріалу, проте не показує, чи здатний студент використати знання для ухвалення рішення. Тому об'єктом оцінювання має бути весь процес роботи з кадровою проблемою: від аналізу вихідних даних і з'ясування причин до розроблення рекомендацій та пояснення очікуваного результату⁶.

Прикладом є завдання щодо високої плинності молодих працівників підприємства. Студенту надають знеособлені дані про чисельність персоналу, прийняття і звільнення працівників, тривалість їхньої роботи, а та-

5 Бутенко А., Денискіна Г., Єременко О., Книш О., Сімшар І., Требенко О. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми : методичний посібник. Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. 127 с. URL: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/Роз'яснення-щодо-застосування-Критеріїв-оцінювання-якості-освітньої-програми.pdf> (дата звернення: 22.09.2026). Sala A., Punie Y., Garkov V., Cabrera Giraldez M. LifeComp: The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2760/302967>.

6 Бутенко А., Денискіна Г., Єременко О., Книш О., Сімшар І., Требенко О. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми : методичний посібник. Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. 127 с. URL: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/Роз'яснення-щодо-застосування-Критеріїв-оцінювання-якості-освітньої-програми.pdf> (дата звернення: 22.09.2026). Волобоєва І., Кравчук О., Парашук Є. Універсальна модель компетентностей для роботи у дистанційному режимі. Економіка та суспільство. 2021. № 25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-36>. Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 073 «Менеджмент» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти : наказ Міністерства освіти і науки України від 29.10.2018 № 1165 (зі змінами). URL: <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennya-standartu-vishoyi-osviti-za-specialnistyu-073-menedzhment-dlya-pershogo-bakalavrskogo-rivnya-vishoyi-osviti> (дата звернення: 22.09.2026).

кож узагальнені результати опитування новачків. На основі цих матеріалів студент має: розрахувати показники руху та плинності персоналу; визначити, на якому етапі роботи звільнення трапляються найчастіше; зіставити кількісні дані з результатами опитування; сформулювати можливі причини проблеми, відокремивши підтверджені факти від припущень; розробити програму адаптації молодих працівників; визначити показники, за якими можна буде оцінити її результативність.

Підсумком роботи може бути аналітична записка для керівника підприємства з доданою програмою адаптації. Під час її представлення студент пояснює, чому запропонував саме ці заходи, які дані підтверджують висновки та якої додаткової інформації бракує для остаточного рішення. Така форма роботи дає змогу одночасно перевірити управлінські, цифрові й соціальні компетентності (табл. 7).

Запропонований розподіл балів є орієнтовним і може змінюватися залежно від мети освітнього компонента. Важливо, щоб високу оцінку неможливо було отримати лише за правильні розрахунки без змістовного пояснення причин проблеми або без обґрунтованого управлінського рішення.

Таблиця 7

Критерії оцінювання комплексного HR-завдання

Джерело: розроблено автором

Критерій	Що оцінюється	Максимальна кількість балів
Розрахунок кадрових показників	Правильність формул, розрахунків і пояснення отриманих значень	20
Робота з даними	Уміння зіставити кадрові показники з результатами опитування, помітити обмеження даних	20
Аналіз причин	Логічність висновків, розмежування фактів і припущень	20
Управлінське рішення	Відповідність програми адаптації виявленій проблемі, чіткість заходів, строків і відповідальних	25
Представлення результатів	Зрозумілість аналітичної записки, аргументація рішення та відповіді на запитання	15
Разом		100

Для узгодження змісту навчання з очікуваними результатами підготовки пропонується використовувати матрицю «професійне завдання – необхідні компетентності – залучені дисципліни – результат і спосіб оцінювання». Вона допомагає визначити, які знання студент має поєднати та за яким продуктом можна перевірити їх практичне застосування (табл. 8)⁷.

Використання матриці дає змогу зробити оцінювання прозорішим: студент заздалегідь розуміє, який професійний результат має підготувати, а викладач – які саме компетентності перевіряє. Крім того, вона допомагає виявити прогалини в освітній програмі.

Таблиця 8

Матриця оцінювання результатів міждисциплінарної підготовки майбутніх HR-фахівців

Джерело: розроблено автором

Професійне завдання	Необхідні компетентності	Залучені дисципліни	Результат і спосіб оцінювання
1	2	3	4
Зменшення плинності персоналу	Аналітичні, управлінські, соціальні	Економіка праці, управління персоналом, психологія, аналіз даних	Аналітична записка та план заходів; оцінювання розрахунків, висновків і обґрунтованості пропозицій
Організація адаптації нового працівника	Управлінські, цифрові, комунікативні	Управління персоналом, цифрові технології, організаційна поведінка	Програма адаптації; оцінювання послідовності етапів, розподілу відповідальності та критеріїв результативності
Планування навчання працівників	Аналітичні, управлінські, цифрові	Управління персоналом, освіта дорослих, аналіз даних	План розвитку компетентностей; оцінювання відповідності навчальних заходів виявленим потребам

⁷ Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 073 «Менеджмент» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти : наказ Міністерства освіти і науки України від 29.10.2018 № 1165 (зі змінами). URL: <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennya-standartu-vishoyi-osviti-specialnistu-073-menedzhment-dlya-pershogo-bakalavrskogo-rivnya-vishoyi-osviti> (дата звернення: 22.09.2026); Бутенко А., Денискіна Г., Єременко О., Книш О., Сімшар І., Требенко О. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми : методичний посібник. Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. 127 с. URL: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/Розяснення-щодо-застосування-Критеріїв-оцінювання-якості-освітньої-програми.pdf> (дата звернення: 22.09.2026); World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. Geneva : World Economic Forum, 2025. URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/> (accessed: 22.09.2026).

Продовження табл. 8

1	2	3	4
Добір кандидата на посаду	Управлінські, соціальні, аналітичні	Рекрутинг, психологія, менеджмент	Профіль посади та висновок за результатами співбесіди; оцінювання чіткості критеріїв і аргументації вибору
Оцінювання результатів роботи працівників	Аналітичні, цифрові, комунікативні	Управління персоналом, економіка праці, цифрові технології	Проект системи оцінювання; перевірка показників, порядку їх застосування та способу надання зворотного зв'язку

Отже, результативність підготовки майбутнього HR-фахівця доцільно визначати за його здатністю аналізувати кадрові дані, з'ясовувати причини проблем, ухвалювати обґрунтовані рішення та представляти їх для практичного застосування. Студент має вміти відрізнати факти від припущень, враховувати потреби працівників і цілі організації, а також визначати показники для оцінювання запропонованих заходів.

Комплексне професійне завдання дає змогу перевірити взаємозв'язок сформованих компетентностей. Наприклад, розробляючи програму адаптації, студент аналізує дані про звільнення новачків, планує заходи та організовує зворотний зв'язок із працівниками й наставниками, що відображає його готовність послідовно розв'язувати практичні завдання з управління персоналом.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-86-97

ФЕДЕНКО Дмитро Олександрович,
аспірант
кафедри бухгалтерського обліку та консалтингу,
Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана
ORCID iD: 0009-0008-6802-7038
Україна

ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ КОНФІГУРАТОРІВ ПРИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ІНТЕГРОВАНОГО ЗВІТУ ТА ЗВІТУ ЗІ СТАЛОСТІ

Зростання вимог до прозорості діяльності організацій, обумовлене глобальними тенденціями сталого розвитку, стимулює інтеграцію екологічних, соціальних та управлінських (ESG) показників у звітність компаній. Інтегровані звіти (Integrated Reporting, IR) та звіти зі сталості (Sustainability Reports, SR) дедалі частіше використовуються для демонстрації стратегічного підходу до сталого розвитку. У цьому контексті важливим інструментом є візуальні конфігуратори, які спрощують процес аналізу даних, підвищують доступність інформації та забезпечують можливість адаптації звітів до різних аудиторій.

Метою дослідження даного блоку є розробка підходів до впровадження візуальних конфігураторів, які забезпечують інтеграцію та ефективну візуалізацію показників сталого розвитку та інтегрованої звітності для підвищення прозорості, зручності аналізу й адаптації звітності до потреб різних груп стейкхолдерів.

Зокрема, дослідження має на меті:

1. Виявити найкращі практики застосування візуальних конфігураторів у міжнародній практиці звітності.
2. Оцінити можливості інтеграції ESG-показників у візуальні конфігуратори з урахуванням галузевих стандартів (GRI, SASB, TCFD).
3. Розробити технічні та методологічні рекомендації для впровадження візуальних інструментів у корпоративну практику.
4. Проаналізувати вплив використання візуальних конфігураторів на якість та доступність звітів для різних зацікавлених сторін.

Таким чином, результати дослідження сприятимуть створенню більш прозорої та доступної системи звітності, яка підтримує сталий розвиток організацій.

Перше завдання полягає в аналізі теоретичних засад інтегрованої звітності та звітності зі сталості. Це включає вивчення основних концепцій сталого розвитку, визначення принципів інтеграції екологічних, соціальних та управлінських показників (ESG) у звітність, а також аналіз сучасних підходів до візуалізації даних. Особлива увага приділяється вивченню стандартів звітності, таких як GRI¹ (Global Reporting Initiative), SASB (Sustainability Accounting Standards Board) та TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures), які формують основу для інтеграції показників у звіти.

Друге завдання передбачає оцінку існуючих інструментів для створення візуальних конфігураторів. У рамках цього завдання проводиться огляд програмних платформ, які використовуються для побудови інтерактивних візуалізацій, таких як Power BI, Tableau, Qlik та інші. Аналізуються їхні функціональні можливості, переваги та недоліки у контексті обробки великих обсягів даних, інтеграції різних форматів інформації та створення адаптивних візуалізацій, які можуть бути зрозумілими для різних груп користувачів.

Третє завдання стосується розробки методології інтеграції ESG-показників у візуальні конфігуратори. Цей етап передбачає формулювання вимог до інструментів візуалізації, які дозволять не лише представити дані у зрозумілій формі, але й адаптувати їх до потреб різних стейкхолдерів. Це можуть бути інвестори, які потребують детальної фінансової інформації, регулятори, які орієнтовані на відповідність стандартам, або громадськість, для якої важлива доступність і простота сприйняття даних.

Четверте завдання – це створення практичного прототипу візуального конфігуратора, який міг би бути застосований для інтегрованої звітності. У цьому контексті дослідження зосереджене на виборі оптимальної платформи, розробці дизайну конфігуратора та його тестуванні у реальних умовах. Прототип повинен враховувати потреби різних користувачів, бути гнучким у налаштуваннях та підтримувати інтерактивність для аналізу даних.

1 Deloitte Insights. Sustainability and digital engagement / London : Deloitte, 2023. 39 с.

П'яте завдання полягає у проведенні оцінки ефективності розробленого рішення. Це включає визначення ключових показників ефективності, які дозволяють оцінити вплив використання візуальних конфігураторів на якість звітності. Аналіз ефективності передбачає порівняння традиційних підходів до звітності з новими інструментами, а також вивчення їхнього впливу на процес прийняття рішень стейкхолдерами.

Вирішення зазначених завдань забезпечить всебічний підхід до впровадження візуальних конфігураторів у практику звітності зі сталого розвитку. Це сприятиме підвищенню прозорості діяльності організацій, зручності аналізу великих обсягів даних та адаптації звітів до потреб різноманітних груп зацікавлених сторін.

Сучасний бізнес дедалі більше орієнтується на принципи сталого розвитку, які охоплюють економічні, екологічні та соціальні аспекти. У цьому контексті інтегровані звіти та звіти зі сталого розвитку стали важливими інструментами для комунікації між компаніями та їхніми стейкхолдерами. Вони дозволяють організаціям прозоро демонструвати свої досягнення, цінності та стратегії, орієнтовані на сталий розвиток.

Інтегровані звіти – це документи, які об'єднують фінансові та нефінансові аспекти діяльності організації в єдину систему. Головна мета таких звітів – показати, як стратегія, управління та діяльність компанії створюють цінність у короткостроковій, середньостроковій та довгостроковій перспективі. Вони враховують не лише фінансову результативність, але й вплив компанії на навколишнє середовище, суспільство та інші аспекти сталого розвитку.

Стандартом, який регулює підготовку інтегрованих звітів, є IR Framework, розроблений Міжнародною радою інтегрованої звітності (International Integrated Reporting Council, IIRC). Він орієнтований на шість основних форм капіталу: фінансовий, виробничий, інтелектуальний, людський, соціальний і природний. Такий підхід дозволяє компаніям демонструвати цілісний вплив своєї діяльності на довкілля та суспільство.

Звіти зі сталого розвитку зосереджені на нефінансових аспектах діяльності компанії, таких як екологічні, соціальні та управлінські (ESG) показники. Вони дають змогу компаніям оцінити свій вплив на ключові сфери сталого розвитку та продемонструвати свої зобов'язання перед суспільством і довкіллям.

Одним із найпоширеніших стандартів для підготовки таких звітів є GRI Standards (Global Reporting Initiative). Ці стандарти спрямовані на забезпечення прозорості та доступності даних для всіх стейкхолдерів. Звіти за GRI охоплюють широкий спектр тем, від викидів парникових газів і використання ресурсів до захисту прав працівників та внеску в розвиток місцевих громад.

Також активно використовуються інші стандарти, наприклад:

- **SASB** (Sustainability Accounting Standards Board), який фокусується на галузевих нефінансових показниках.
- **TCFD** (Task Force on Climate-related Financial Disclosures), який зосереджений на кліматичних ризиках.

Хоча інтегровані звіти та звіти зі сталого розвитку мають певні відмінності, вони тісно пов'язані між собою. Звіти зі сталого розвитку зазвичай є джерелом нефінансової інформації для підготовки інтегрованих звітів. Інтегровані звіти, у свою чергу, надають цілісну картину, інтегруючи фінансову й нефінансову інформацію.

Переваги інтегрованої звітності та звітності зі сталого розвитку:

1. Підвищення прозорості: компанії відкрито демонструють свої дії, що сприяє зміцненню довіри з боку стейкхолдерів.
2. Прийняття зважених рішень: звіти допомагають керівництву враховувати нефінансові фактори при стратегічному плануванні.
3. Відповідність регуляторним вимогам: у багатьох країнах нефінансова звітність стає обов'язковою для великих компаній.
4. Репутаційні переваги: прозора звітність покращує імідж компанії в очах суспільства та інвесторів.

Незважаючи на переваги, підготовка інтегрованих звітів і звітів зі сталого розвитку пов'язана з певними викликами. Вони включають складність збору даних, відсутність уніфікованих стандартів у деяких галузях, високі витрати на підготовку звітів та необхідність адаптації інформації для різних груп стейкхолдерів.

Інтегрована звітність є складним інструментом, який охоплює великий обсяг фінансових і нефінансових даних, включаючи інформацію про екологічні, соціальні та управлінські показники (ESG). Такий обсяг і багатогранність інформації ставлять виклик перед компаніями у її структуризації, поданні та сприйнятті. Візуальні конфігуратори є інноваційним

інструментом, який дозволяє вирішити ці проблеми завдяки інтерактивності, доступності та наочності представлення даних.

Значна кількість нефінансових показників, які включаються в інтегровані звіти, може бути складною для розуміння без належного візуального представлення. Наукові дослідження з когнітивної психології свідчать, що візуалізація складних даних сприяє кращому їх розумінню та засвоєнню. Графічні форми подання інформації, такі як діаграми, карти, графіки та дашборди, допомагають користувачам швидше ідентифікувати ключові закономірності та тренди. Це особливо важливо для різних категорій стейкхолдерів, які можуть не мати спеціалізованих знань у галузі фінансів або сталого розвитку.

Значна кількість нефінансових показників, які інтегруються у звіти зі сталого розвитку та інтегровані звіти, створює серйозний виклик для ефективного сприйняття й аналізу інформації. Інтегровані звіти охоплюють широкий спектр даних, включаючи екологічні, соціальні, управлінські та фінансові аспекти, а також інформацію про стратегії, ризики, довгострокові перспективи та вплив компанії на суспільство й довкілля. Через це традиційні текстові або табличні формати не завжди здатні адекватно передати складну і багаторівневу інформацію, яка міститься в цих документах.

Наукові дослідження з когнітивної психології показують, що людський мозок значно ефективніше обробляє візуальну інформацію, ніж текст або числа. Наприклад, згідно з дослідженнями, мозок обробляє візуальну інформацію приблизно в 60 000 разів швидше, ніж текстову. Крім того, графічні форми подання даних дозволяють значно зменшити когнітивне навантаження, оскільки вони сприяють швидшому ідентифікуванню ключових закономірностей, трендів і кореляцій між показниками.

Форми візуального представлення:

- **Діаграми** (наприклад, кругові, стовпчикові чи лінійні) дають змогу наочно порівнювати показники між категоріями або за часом.
- **Картографічні візуалізації** (наприклад, географічні карти) ефективні для демонстрації регіонального розподілу впливу компанії, таких як викиди вуглекислого газу або використання водних ресурсів.
- **Інфографіки** забезпечують інтегроване подання даних із додаванням контексту, що допомагає аудиторії швидше зрозуміти зміст.

- **Інтерактивні дашборди** дозволяють користувачам самостійно аналізувати дані, змінювати масштаб, обирати цікаві для них показники й бачити їхній вплив у реальному часі.

Однією з ключових проблем у підготовці інтегрованої звітності є те, що стейкхолдери (інвестори, регулятори, співробітники, громадськість) мають різний рівень розуміння і різні інформаційні потреби. Інтерактивна та адаптована візуалізація дозволяє задовольнити ці потреби.

1. Для інвесторів важливі фінансові показники, а також ризики й можливості, пов'язані з ESG-факторами². За допомогою графіків та прогнозних моделей, представлених у візуальних конфігураторах, інвестори можуть швидко оцінити, які зміни в ESG-показниках впливають на фінансову стійкість компанії.
2. Для регуляторів необхідний доступ до деталізованих даних про відповідність екологічним стандартам, використання ресурсів і соціальний вплив. Карти або гістограми можуть наочно показати відповідність нормативам або демонструвати відхилення, які потребують уваги.
3. Для громадськості візуалізація спрощує складну інформацію, наприклад, про зусилля компанії щодо скорочення викидів парникових газів, використання відновлюваних джерел енергії або соціальні ініціативи. Простота та зрозумілість візуальних даних підвищують довіру до звітів.
4. Для керівників і співробітників інтерактивні дашборди стають інструментами стратегічного управління, дозволяючи відслідковувати ключові показники ефективності (KPI) у реальному часі, а також оцінювати досягнення цілей сталого розвитку.

Когнітивна психологія підкреслює важливість структурування інформації. Дослідження показують, що незв'язна або перевантажена інформація призводить до втрати концентрації, що особливо критично для фінансової звітності, де важливі не лише цифри, але й контекст. Візуалізація вирішує ці проблеми, використовуючи принципи дизайну, такі як:

- **Колір:** допомагає виділяти важливі дані (наприклад, червоний для ризиків або зелений для досягнень).
- **Групування:** дозволяє об'єднувати подібні показники (наприклад, усі соціальні метрики в одному графіку).

2 McKinsey & Company. Overcoming barriers in digital transformation / New York, 2022. 54 с.

- **Пропорції:** акцентують увагу на найбільш значущих даних, таких як частка викидів або кількість утилізованих ресурсів.

Наукові підходи до управління вказують на необхідність швидкого аналізу інформації для ухвалення рішень. В умовах сучасного бізнесу інтегровані звіти є не просто формальністю, а базою для стратегічного планування. Інтерактивні візуальні конфігуратори дозволяють не лише отримати дані, але й аналізувати сценарії, моделювати вплив зміни стратегій на результати ESG-показників і фінансову стійкість.

Візуальні конфігуратори є важливим інструментом для забезпечення доступності та зрозумілості нефінансових показників інтегрованої звітності. Вони зменшують когнітивне навантаження, допомагають ідентифікувати тренди й кореляції, підвищують прозорість і довіру до компанії. Для різних категорій стейкхолдерів візуалізація відкриває нові можливості для взаємодії зі звітами, дозволяючи адаптувати інформацію до їхніх специфічних потреб. У сучасних умовах складності та багатовимірності бізнесу використання таких інструментів стає не просто бажаним, а необхідним елементом ефективного управління й комунікації.

Візуальні конфігуратори дозволяють створювати інтерактивні дашборди, які користувачі можуть налаштовувати відповідно до своїх потреб. Наприклад, інвестори можуть зосередитися на фінансових ризиках, пов'язаних зі змінами клімату, тоді як регулятори можуть оцінювати відповідність екологічним стандартам. Такий підхід дозволяє кожній групі стейкхолдерів отримувати релевантну інформацію, знижуючи бар'єри сприйняття та підвищуючи ефективність використання звітності.

Візуальні конфігуратори є передовими інструментами, які дозволяють не лише візуалізувати складну інформацію, але й надавати можливість користувачам активно взаємодіяти з даними. Однією з головних переваг таких конфігураторів є можливість створення інтерактивних дашбордів – інструментів, що дозволяють користувачам налаштовувати інтерфейс і аналізувати інформацію відповідно до своїх потреб³.

Інтерактивність цих дашбордів дає змогу кожній категорії стейкхолдерів зосередитися на тих аспектах діяльності компанії, які є для них найбільш релевантними. Замість того, щоб переглядати великі обсяги непотрібної інформації, стейкхолдери отримують доступ до персоналізованих

3 Gartner Research. The rise of no-code and low-code in enterprise systems / Stamford : Gartner, 2021. 47 с.

даних, що підвищує ефективність їхньої роботи зі звітністю та полегшує ухвалення обґрунтованих рішень.

Інтерактивні дашборди створюються з урахуванням потреб різних груп користувачів, кожна з яких має свої специфічні запити та очікування:

- **Інвестори:** ця категорія стейкхолдерів зазвичай цікавиться фінансовими показниками, пов'язаними з ризиками й можливостями ESG-факторів. Наприклад, за допомогою дашборда інвестори можуть швидко отримати інформацію про фінансовий вплив кліматичних ризиків, аналізувати динаміку ESG-показників у порівнянні з галузевими стандартами чи оцінювати ефективність заходів компанії з управління вуглецевим слідом. Інтерактивність дозволяє їм змінювати часові інтервали, проводити порівняння між різними географічними регіонами чи галузями.
- **Регулятори:** їхній основний фокус – дотримання нормативів і стандартів, зокрема екологічних і соціальних. Дашборди для регуляторів можуть включати такі модулі, як викиди парникових газів у реальному часі, відповідність стандартам GRI чи SASB, а також деталізовані дані щодо виконання законодавчих вимог у різних регіонах. Регулятори можуть налаштовувати дашборд для відображення конкретних показників або аналізу динаміки змін у порушеннях стандартів.
- **Громадськість:** ця категорія зацікавлена у прозорості компанії та її впливі на екологію і суспільство. Дашборди, орієнтовані на громадськість, можуть бути менш деталізованими, але максимально простими для сприйняття, з акцентом на ключових досягненнях компанії, наприклад, відновленні природних ресурсів, участі у соціальних ініціативах чи скороченні викидів.
- **Керівники компанії:** для них дашборди є стратегічним інструментом. Вони дозволяють оперативно отримувати ключові показники ефективності (KPI) та відстежувати реалізацію цілей сталого розвитку. Завдяки інтерактивності керівники можуть порівнювати результати окремих підрозділів, оцінювати ризики або моделювати сценарії майбутнього розвитку.

Можливість налаштування дашбордів робить використання інтегрованої звітності більш ефективним. Персоналізація дозволяє кожному користувачеві отримувати лише ту інформацію, яка є важливою для його

завдань. Це значно зменшує обсяг часу, необхідний для аналізу звітів, і підвищує точність ухвалення рішень.

Крім того, персоналізовані дашборди можуть інтегрувати дані з різних джерел: фінансових систем, платформ управління навколишнім середовищем, баз даних співробітників тощо. Це дозволяє отримувати цілісну картину діяльності компанії, без необхідності витрачати час на пошук даних у різних системах⁴.

Переваги інтерактивних дашбордів:

1. **Адаптивність:** дашборди можуть змінюватися залежно від запитів користувачів. Наприклад, інвестор може додати прогностичні модулі, тоді як регулятор – отримати доступ до детальних історичних даних.
2. **Простота використання:** інтерактивні дашборди зазвичай мають інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє користувачам без спеціалізованої підготовки отримувати релевантну інформацію.
3. **Швидкість доступу до інформації:** дані в дашбордах оновлюються в режимі реального часу, що дозволяє користувачам оперативно реагувати на зміни.
4. **Інтерактивність:** користувачі можуть самостійно змінювати параметри відображення даних, обираючи часові інтервали, географічні регіони чи певні показники.

Однією з найбільших проблем у звітності є те, що велика кількість нефінансових даних може бути складною для розуміння різними категоріями стейкхолдерів. Інтерактивні дашборди, створені за допомогою візуальних конфігураторів, знижують ці бар'єри за рахунок доступності, простоти та персоналізації. Вони дозволяють зробити складну інформацію зрозумілою, адаптуючи її до рівня знань та інтересів користувачів.

Застосування візуальних конфігураторів для створення дашбордів також сприяє формуванню іміджу інноваційної компанії. Це демонструє прихильність до передових технологій і відповідність сучасним тенденціям прозорості й цифрової трансформації.

Інтерактивні дашборди, створені за допомогою візуальних конфігураторів, є ключовим інструментом у підвищенні ефективності використання інтегрованої звітності. Вони дозволяють різним категоріям

4 PwC. Corporate carbon footprint management through digital tools / London : PricewaterhouseCoopers, 2021. 68 с.

стейкхолдерів швидко отримувати релевантну інформацію, знижують когнітивне навантаження і покращують сприйняття даних. Такі інструменти не лише підвищують якість взаємодії зі звітами, але й сприяють прийняттю обґрунтованих рішень.

Сучасні компанії стикаються з необхідністю обробки великих обсягів даних (Big Data). Візуальні конфігуратори забезпечують інтеграцію даних із різних джерел, таких як фінансові системи, системи управління навколишнім середовищем і корпоративні бази даних. Це дозволяє автоматизувати процес аналізу, зменшити кількість помилок та прискорити підготовку звітів. Крім того, конфігуратори можуть виявляти закономірності та прогнозувати можливі сценарії розвитку, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих рішень.

Сучасний бізнес дедалі більше стикається з викликом обробки великих обсягів даних (Big Data), які надходять з різноманітних джерел. Ці дані охоплюють фінансові показники, інформацію про екологічні впливи, соціальні аспекти, управлінські процеси, а також зовнішні фактори, такі як економічні тенденції чи кліматичні ризики. У таких умовах традиційні інструменти аналізу часто є недостатньо ефективними, адже вони не здатні забезпечити необхідну швидкість і якість обробки складної та багатогранної інформації.

Візуальні конфігуратори є потужними інструментами, які допомагають інтегрувати, автоматизувати й аналізувати дані, що надходять із численних джерел. Це значно підвищує ефективність роботи компаній у сфері підготовки інтегрованої звітності та звітів зі сталого розвитку.

Великі корпорації, що працюють у різних країнах або галузях, мають справу з різномірними наборами даних. Наприклад:

- **Фінансові системи** забезпечують інформацію про витрати, доходи, прибутковість та інші фінансові показники.
- **Системи управління навколишнім середовищем** збирають дані про викиди, споживання енергії, утилізацію відходів.
- **Корпоративні бази даних** містять інформацію про персонал, соціальні програми, інноваційні проєкти та взаємодію з місцевими громадами.

Візуальні конфігуратори дозволяють інтегрувати ці дані в єдину систему, що забезпечує цілісне уявлення про діяльність компанії. Завдяки

цьому можна зручно відстежувати динаміку ESG-показників, оцінювати вплив різних факторів та знаходити кореляції між ними.

Традиційний підхід до підготовки звітності включає значний обсяг ручної роботи, що підвищує ризик помилок і потребує багато часу. Використання візуальних конфігураторів дозволяє автоматизувати ключові етапи обробки даних:

1. **Збирання даних:** автоматичний імпорт інформації з внутрішніх і зовнішніх джерел у реальному часі.
2. **Обробка даних:** очищення, стандартизація та групування показників відповідно до вимог звітності (наприклад, GRI або SASB).
3. **Аналіз і представлення:** автоматичне формування графіків, діаграм, дашбордів та інтерактивних звітів.

Це дозволяє значно скоротити час підготовки звітів, зменшити кількість помилок, а також звільнити ресурси для стратегічного аналізу та прийняття рішень.

Візуальні конфігуратори не лише обробляють великі обсяги інформації, але й допомагають знаходити приховані закономірності, які можуть залишатися непомітними при використанні традиційних інструментів аналізу. Наприклад:

- Аналіз залежності між фінансовими результатами та впровадженням екологічних ініціатив.
- Виявлення взаємозв'язків між соціальними інвестиціями компанії та її репутацією серед споживачів.
- Оцінка динаміки споживання ресурсів у різних підрозділах компанії та оптимізація витрат.

Ці можливості дозволяють компаніям не лише аналізувати поточний стан, але й отримувати цінну інформацію для прогнозування майбутніх сценаріїв.

Однією з ключових переваг використання візуальних конфігураторів є можливість моделювання та прогнозування. Це дозволяє оцінювати, як різні рішення вплинуть на показники компанії у коротко- та довгостроковій перспективі. Наприклад:

- Моделювання впливу змін у регуляторній політиці на викиди парникових газів та витрати компанії.
- Прогнозування фінансових наслідків впровадження нових соціальних ініціатив або екологічних програм.

- Оцінка ймовірності досягнення цілей сталого розвитку за різних сценаріїв економічного чи кліматичного середовища.

Інтеграція та аналіз великих обсягів даних за допомогою візуальних конфігураторів значно підвищують якість прийняття рішень на всіх рівнях управління. Це стосується як операційних задач (оптимізація витрат, контроль ресурсів), так і стратегічного планування (вибір напрямів інвестицій, управління ризиками, розвиток стійких ініціатив).

1. **Швидкість і ефективність:** автоматизація аналізу даних значно зменшує час підготовки звітів.
2. **Зниження ризиків:** зменшення кількості помилок і пропусків при обробці великих даних.
3. **Підвищення конкурентоспроможності:** використання передових технологій у сфері аналізу даних формує імідж інноваційної та відповідальної компанії.
4. **Ефективна комунікація зі стейкхолдерами:** можливість швидко і наочно представити результати діяльності для інвесторів, регуляторів та громадськості.

Візуальні конфігуратори є незамінним інструментом для роботи з великими обсягами даних. Вони забезпечують інтеграцію, автоматизацію й аналітику даних, що дозволяє компаніям швидко адаптуватися до вимог сучасного бізнес-середовища. Можливість прогнозування сценаріїв розвитку, виявлення закономірностей та зменшення ризиків сприяє прийняттю більш обґрунтованих і стратегічних рішень, а також підвищенню ефективності інтегрованої звітності та сталого управління.

Сучасні стандарти звітності, вимагають прозорості та доступності інформації для різних стейкхолдерів. Візуальні конфігуратори дозволяють структурувати дані відповідно до вимог цих стандартів, забезпечуючи їхню доступність у зрозумілому форматі. Це також сприяє підвищенню довіри до компанії з боку інвесторів, регуляторів та громадськості.

Сучасні стандарти звітності, такі як GRI (Global Reporting Initiative), SASB (Sustainability Accounting Standards Board) та TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures), значно змінили підхід компаній до підготовки нефінансових звітів. Основними вимогами цих стандартів є прозорість, доступність та структурованість інформації,

що забезпечує зрозумілість і зручність її використання для різних груп стейкхолдерів.

Візуальні конфігуратори стали потужним інструментом для реалізації цих вимог, дозволяючи організаціям інтегрувати численні дані, дотримуватися стандартів та ефективно комунікувати зі своїми стейкхолдерами.

Прозорість є ключовим принципом нефінансової звітності. Наприклад, GRI фокусується на повному розкритті екологічних, соціальних та економічних впливів компанії, а TCFD вимагає деталізованих звітів про ризики та можливості, пов'язані зі зміною клімату.

Візуальні конфігуратори дозволяють:

- **Представляти складні дані у зрозумілому вигляді:** замість текстових блоків або таблиць, які можуть бути складними для сприйняття, використовуються графіки, карти та інтерактивні дашборди, що робить дані прозорішими й доступнішими.
- **Відображати динаміку показників:** зміни у викидах парникових газів, прогрес у досягненні цілей сталого розвитку чи динаміку споживання ресурсів можуть бути представлені у вигляді лінійних графіків або теплових карт, які чітко показують тенденції.
- **Виділяти ключову інформацію:** інтерактивні інструменти дозволяють акцентувати увагу на найбільш важливих показниках, забезпечуючи прозорість без надлишку інформації.

Кожен зі стандартів має свої особливості у поданні інформації:

- **GRI** орієнтований на широке розкриття тем і показників, таких як енергоспоживання, вплив на біорізноманіття, права людини чи соціальні інвестиції.
- **SASB** адаптований до галузевих потреб, з акцентом на показники, які мають найбільший вплив на фінансові результати компанії у конкретній галузі.
- **TCFD** структурує звітність навколо чотирьох ключових напрямів: управління, стратегія, управління ризиками та показники.

Візуальні конфігуратори дозволяють структурувати дані у відповідності до цих вимог. Наприклад, вони можуть інтегрувати галузеві показники SASB, автоматично адаптуючи форму звітності для різних регіонів або галузей, або створювати окремі розділи для управлінських даних, необхідних за TCFD.

Однією з основних переваг візуальних конфігураторів є можливість адаптації звітів для різних категорій стейкхолдерів:

- **Інвестори** отримують доступ до інтерактивних дашбордів, які фокусуються на ризиках і можливостях, пов'язаних із фінансовими аспектами ESG. Це дозволяє їм оцінювати вплив ESG-показників на стійкість і довгострокову прибутковість компанії.
- **Регулятори** можуть працювати з деталізованими даними, представленими у форматі, що відповідає законодавчим вимогам. Наприклад, це можуть бути карти відповідності викидів законодавчим лімітам або розрахунки витрат на енергоефективні ініціативи.
- **Громадськість** отримує звіти, які фокусуються на ключових досягненнях компанії у соціальній сфері або впливі на довкілля. Візуальні конфігуратори дозволяють створювати зрозумілі інфографіки, які акцентують увагу на досягненнях та викликах, що спрощує комунікацію з суспільством.

Прозорість і доступність інформації, забезпечена за допомогою візуальних конфігураторів, значно підвищують довіру до компанії з боку її стейкхолдерів.

Інвестори більш охоче співпрацюють із компаніями, які відкрито демонструють свої показники, особливо ті, що стосуються управління ризиками та фінансової стійкості.

Громадськість позитивно оцінює компанії, які демонструють відповідальність за свій вплив на екологію та суспільство.

Регулятори відзначають компанії, які дотримуються вимог стандартів і створюють звіти, що полегшують моніторинг і аналіз.

Для забезпечення відповідності вимогам стандартів конфігуратори інтегруються з великими обсягами даних і забезпечують автоматизацію процесів підготовки звітності. Завдяки цьому компанії можуть швидко оновлювати інформацію та дотримуватися найновіших змін у стандартах звітності.

Візуальні конфігуратори є ключовим інструментом для забезпечення відповідності сучасним стандартам звітності. Вони не лише структурують дані відповідно до вимог GRI, SASB та TCFD, але й підвищують прозорість і доступність інформації для різних стейкхолдерів. Це сприяє зміцненню довіри до компанії, покращує її імідж і створює

умови для більш ефективної взаємодії з інвесторами, регуляторами та суспільством.

Наукові підходи до аналізу рішень свідчать, що якісна візуалізація даних сприяє більш раціональному та обґрунтованому ухваленню управлінських рішень. Візуальні конфігуратори дозволяють керівникам компаній швидко отримувати доступ до ключових показників і прогнозів, оцінювати ризики та планувати стратегії розвитку на основі наочних даних.

Наукові підходи до аналізу й ухвалення рішень підкреслюють важливість доступу до якісних, структурованих та наочних даних. Візуалізація інформації є критично важливою в умовах сучасного бізнес-середовища, де керівники компаній мають справу з великими обсягами даних, необхідних для прийняття стратегічних та оперативних рішень. Візуальні конфігуратори забезпечують можливість швидко отримувати ключову інформацію, аналізувати її та використовувати для планування, що робить процес ухвалення рішень більш обґрунтованим і ефективним.

Дослідження в галузі когнітивної психології та управління свідчать, що людський мозок обробляє візуальну інформацію значно швидше, ніж текстову або числову. Графічні елементи, такі як діаграми, графіки або теплові карти, дозволяють миттєво ідентифікувати тенденції, кореляції та аномалії. Для керівників це означає, що важлива інформація стає доступною швидше, ніж у традиційних текстових звітах, що скорочує час на аналіз і підвищує якість прийнятих рішень.

Візуальні конфігуратори дозволяють інтегрувати дані з різних джерел і представляти їх у зручному форматі дашбордів, які оновлюються в режимі реального часу. Це надає керівникам компаній кілька важливих переваг:

1. **Швидка оцінка поточного стану бізнесу:** ключові показники ефективності (KPI), такі як прибутковість, споживання ресурсів, викиди чи прогрес у реалізації ESG-цілей, завжди доступні для аналізу.
2. **Миттєва ідентифікація відхилень:** візуальні сигнали, такі як кольорові індикатори (зелене для нормальних показників, червоне для проблемних), дозволяють швидко виявляти проблеми.
3. **Оцінка ефективності рішень:** інтерактивність дашбордів дозволяє керівникам порівнювати фактичні результати з плановими, оцінюючи вплив попередніх рішень.

Однією з ключових функцій візуальних конфігураторів є можливість моделювання сценаріїв розвитку компанії. Це дозволяє керівникам оцінювати ймовірні наслідки своїх рішень до їхнього впровадження. Наприклад:

1. **Фінансове прогнозування:** моделювання змін у бюджетах чи інвестиційних проектах і їхній вплив на фінансову стійкість компанії.
2. **Аналіз ризиків:** оцінка потенційних загроз (наприклад, кліматичних чи економічних) і розробка стратегій їхнього пом'якшення.
3. **Планування ресурсів:** прогнозування потреб у сировині, енергії чи працівниках для підтримки безперервного виробництва.

Такі прогнози базуються на аналізі великих обсягів історичних даних, що дозволяє керівникам отримувати більш обґрунтовані результати.

Дослідження управлінської ефективності свідчать, що якісні рішення базуються на двох основних принципах:

1. **Доступність точних даних:** наявність вичерпної інформації про внутрішні та зовнішні чинники.
2. **Зрозуміле подання інформації:** спрощення складної інформації для швидкого аналізу.

Візуальні конфігуратори виконують обидва ці завдання. Вони забезпечують зручний доступ до структурованих даних і представляють їх у зрозумілому форматі, зменшуючи ймовірність помилок, спричинених неправильним трактуванням складної інформації.

На стратегічному рівні візуальні конфігуратори дозволяють керівникам:

- Визначати пріоритети на основі аналізу ключових показників.
- Моніторити виконання цілей сталого розвитку та інтегрованої звітності.
- Коригувати стратегії залежно від змін у бізнес-середовищі чи показниках ефективності.

Візуальні конфігуратори стали невід'ємним інструментом для керівників компаній у сучасному бізнес-середовищі. Вони забезпечують доступ до ключових даних у режимі реального часу, підтримують прогнозування та моделювання, а також сприяють прийняттю більш раціональних і обґрунтованих рішень. Завдяки цим можливостям керівники можуть не лише ефективніше управляти компанією, але й швидко адаптувати стратегії до змін у внутрішньому чи зовнішньому середовищі, що підвищує стійкість і конкурентоспроможність організації.

Використання передових технологій, таких як візуальні конфігуратори, сприяє формуванню іміджу інноваційної компанії, яка активно впроваджує цифрові рішення для підвищення ефективності управління та прозорості діяльності. Це створює конкурентну перевагу на ринку та підвищує лояльність клієнтів і партнерів.

В сучасному бізнес-середовищі, яке стрімко розвивається завдяки цифровим технологіям, інноваційність стає ключовим чинником конкурентоспроможності компаній. Використання передових інструментів, таких як візуальні конфігуратори, не лише підвищує ефективність операцій і управління, але й допомагає компаніям демонструвати свою готовність до адаптації та модернізації. Це сприяє формуванню іміджу організації як інноваційного, надійного та технологічно розвинутого гравця на ринку, що є важливим для залучення клієнтів, партнерів і інвесторів.

Інноваційність організації полягає не лише у створенні нових продуктів чи послуг, а й у використанні сучасних технологій для оптимізації внутрішніх процесів. Візуальні конфігуратори є яскравим прикладом таких технологій. Вони дозволяють компаніям впроваджувати цифрову трансформацію в таких сферах, як аналіз великих даних, інтегрована звітність, прогнозування та стратегічне планування.

Переваги впровадження інноваційних технологій через візуальні конфігуратори включають:

1. **Оптимізацію процесів:** швидкий доступ до ключових показників, автоматизація звітності та аналізу.
2. **Прозорість діяльності:** зрозуміле та наочне представлення даних для стейкхолдерів, що зміцнює довіру.
3. **Демонстрацію прогресивності:** використання сучасних рішень підкреслює готовність компанії відповідати найновішим стандартам і тенденціям.

Конкурентоспроможність компанії значною мірою залежить від її здатності адаптуватися до змін і використовувати передові рішення. Використання візуальних конфігураторів надає такі переваги на ринку:

- **Покращення якості управління:** завдяки інтерактивним дашбордам керівники можуть приймати більш обґрунтовані рішення, що підвищує ефективність усіх бізнес-процесів.

- **Залучення інвесторів:** компанії, які прозоро та інноваційно підходять до звітності, викликають більше довіри серед інвесторів.
- **Підвищення привабливості для клієнтів:** споживачі охочіше співпрацюють із компаніями, які дбають про сталий розвиток і демонструють прозорість своєї діяльності.
- **Лояльність партнерів:** надійні та інноваційні компанії сприймаються як стабільні партнери, що здатні витримати виклики ринку.

Успішна комунікація із зовнішнім середовищем є важливою складовою створення позитивного іміджу. Візуальні конфігуратори роблять компанію більш відкритою для споживачів, партнерів і регуляторів:

- **Для споживачів:** компанія, яка використовує інноваційні технології, позиціонується як сучасна і дбайлива. Наприклад, наочне відображення впливу на довкілля або соціальних ініціатив підкреслює відповідальність компанії перед суспільством.
- **Для партнерів:** технологічно розвинені компанії здатні працювати ефективніше, що робить їх привабливими для довгострокової співпраці.
- **Для регуляторів:** відповідність міжнародним стандартам і прозорість діяльності формують позитивний образ компанії як надійного і відповідального гравця на ринку.

Використання інноваційних технологій, таких як візуальні конфігуратори, посилює довіру до компанії з боку клієнтів і партнерів. Клієнти цінують прозорість і відповідальність бізнесу, особливо в умовах зростаючої уваги до екологічних та соціальних питань. Партнери, у свою чергу, отримують більше впевненості в стабільності та надійності організації, яка активно впроваджує сучасні рішення для забезпечення високих стандартів діяльності.

Компанія, яка інтегрує візуальні конфігуратори у свої бізнес-процеси, формує репутацію інноваційного лідера, здатного швидко адаптуватися до викликів цифрової епохи. Це дає змогу не лише закріпитися на поточному ринку, але й розширювати свою присутність, залучаючи нових клієнтів і партнерів.

Впровадження візуальних конфігураторів – це не лише крок до підвищення ефективності управління, але й важливий елемент формування позитивного іміджу компанії. Сучасні технології підкреслюють іннова-

ційність, прозорість і прогресивність організації, що сприяє зміцненню її позицій на ринку, підвищенню довіри клієнтів і партнерів, а також створенню довгострокової конкурентної переваги.

Звіти часто створюються для різних стейкхолдерів, які мають різні рівні розуміння та зацікавленості в деталях звіту. Візуальні конфігуратори дозволяють представляти як узагальнену, так і деталізовану інформацію залежно від потреб конкретного користувача. Це робить звітність гнучкою і корисною як для стратегічних, так і для операційних завдань.

Сучасні звіти, особливо інтегровані звіти та звіти зі сталого розвитку, спрямовані на задоволення потреб різних стейкхолдерів: інвесторів, регуляторів, партнерів, клієнтів, громадськості та внутрішніх користувачів, таких як керівники чи співробітники. Кожна з цих груп має свої очікування, різний рівень розуміння складної інформації та специфічні вимоги до деталізації. У такій ситуації візуальні конфігуратори стають ідеальним інструментом, що дозволяє адаптувати подання даних до потреб кожного користувача, забезпечуючи гнучкість та ефективність звітності.

Різнomanітність аудиторії, яка працює зі звітами, визначає необхідність створення як узагальненого, так і деталізованого подання інформації.

- **Інвестори** зазвичай орієнтовані на фінансову інформацію, ризики та можливості, пов'язані з ESG-показниками. Їм важливо швидко побачити ключові показники ефективності (KPI), фінансові прогнози та аналіз ризиків. Візуальні конфігуратори дозволяють створювати дашборди, які виділяють ці дані та дозволяють порівнювати результати між компаніями чи періодами.
- **Регулятори** потребують деталізованих звітів про відповідність стандартам і нормативним вимогам, наприклад, у сфері екології чи праці. Інтерактивні візуалізації дозволяють створювати розгорнуті звіти, що відповідають формальним вимогам, і надавати доступ до необхідних даних у зрозумілому форматі.
- **Громадськість** часто зацікавлена в загальній прозорості компанії та її соціальних чи екологічних досягненнях. Для цієї аудиторії важливо представити інформацію у простій, візуально привабливій формі, наприклад, через інфографіки чи короткі підсумкові дашборди, які акцентують увагу на ключових досягненнях.

- **Керівники компаній** використовують звіти для стратегічного планування. Їм потрібні не лише узагальнені дані, але й інструменти для глибокого аналізу, які дозволяють моделювати сценарії, відстежувати тенденції та оцінювати ефективність бізнес-процесів.

Операційні підрозділи орієнтовані на деталізовану інформацію, яка дозволяє контролювати виконання конкретних завдань. Наприклад, дані про використання енергії чи викиди в атмосферу можуть бути представлені в деталізованих графіках, що демонструють результати кожного виробничого підрозділу.

Візуальні конфігуратори дозволяють об'єднати узагальнене та деталізоване подання інформації в рамках одного інструменту:

1. **Узагальнена інформація:** ключові показники й індикатори відображаються у спрощеному вигляді для швидкого розуміння основних тенденцій. Наприклад, це можуть бути загальні дані про скорочення викидів парникових газів або підвищення енергоефективності.
2. **Деталізована інформація:** користувачі можуть «провалюватися» в дані, щоб побачити їхній детальний аналіз, наприклад, вплив кожного виробничого підрозділу на загальні результати чи динаміку змін у конкретних регіонах.

Візуальні конфігуратори роблять звітність не лише адаптивною до потреб стейкхолдерів, але й придатною для виконання різних завдань.

- **Стратегічні завдання:** наприклад, керівники можуть використовувати інтерактивні дашборди для оцінки досягнення цілей сталого розвитку (SDG) або моделювання майбутніх сценаріїв на основі змін у ESG-показниках.
- **Операційні завдання:** звіти на основі візуальних конфігураторів допомагають відслідковувати виконання планів, коригувати дії в реальному часі та оптимізувати ресурси.
- **Аналітичні завдання:** інструменти візуалізації дозволяють глибоко аналізувати історичні дані, ідентифікувати тренди та прогнозувати майбутній вплив рішень.

Однією з найсильніших сторін візуальних конфігураторів є їхня інтерактивність. Вона дозволяє користувачам самостійно вибирати параметри для відображення, змінювати часові рамки, порівнювати різні показники

чи регіони. Наприклад, інвестор може вибрати лише фінансові дані, тоді як регулятор зосередиться на екологічних показниках.

Гнучкість і доступність звітності підвищують прозорість діяльності компанії. Коли кожна група стейкхолдерів отримує інформацію у формі, яка відповідає її потребам, довіра до компанії зростає. Це зміцнює її репутацію як відкритого, відповідального та прогресивного учасника ринку.

Візуальні конфігуратори роблять звітність гнучкою, адаптивною та корисною для всіх категорій стейкхолдерів, незалежно від рівня їхньої підготовки чи зацікавленості в деталях. Завдяки можливості об'єднувати узагальнене й деталізоване подання даних, вони забезпечують ефективну взаємодію між компанією та її аудиторією, сприяючи виконанню стратегічних, операційних та аналітичних завдань. Такий підхід підвищує прозорість, довіру та репутацію компанії як надійного й відповідального партнера.

У підсумку, візуальні конфігуратори забезпечують поєднання наукових підходів до обробки великих обсягів інформації, інтерактивності та гнучкості представлення даних, що робить їх невід'ємним інструментом у створенні інтегрованої звітності. Вони сприяють покращенню якості аналізу, підвищенню прозорості діяльності компанії та формуванню довіри з боку стейкхолдерів.

Візуальні конфігуратори дозволяють:

1. Автоматизувати обробку великих обсягів даних, забезпечуючи швидкий доступ до ключових показників.
2. Візуалізувати складні зв'язки між екологічними, соціальними та фінансовими метриками.
3. Забезпечити гнучкість у представленні даних для різних стейкхолдерів, включаючи інвесторів, регуляторів та громадськість.

Технічні аспекти впровадження можемо поділити на два кластери – хмарні рішення (хмарні платформи, такі як Power BI, Tableau, або Google Data Studio, дозволяють інтегрувати дані в реальному часі) та модульність та масштабованість (конфігуратори повинні мати можливість адаптації до змін в стандартах звітності та вимог регуляторів).

Сучасний бізнес-світ вимагає від компаній прозорості, адаптивності та ефективного управління інформацією. Це особливо актуально в кон-

тексті інтегрованої звітності та звітів зі сталого розвитку, які мають задовольнити потреби різних категорій стейкхолдерів і відповідати стандартам звітності, таким як GRI, SASB та TCFD. В умовах зростаючих обсягів даних (Big Data) та багатовимірності звітності традиційні підходи до збору, аналізу та представлення інформації виявляються недостатніми. У цьому контексті візуальні конфігуратори стають важливим інструментом, що вирішує низку завдань і забезпечує новий рівень ефективності в управлінні звітністю.

Однією з ключових переваг використання візуальних конфігураторів є їхня здатність адаптувати звітність до різних категорій стейкхолдерів. Завдяки інтерактивним інструментам компанії можуть представляти як узагальнену, так і деталізовану інформацію. Це дозволяє інвесторам, регуляторам, громадськості, керівникам і операційним підрозділам отримувати дані у зрозумілому форматі, який відповідає їхнім потребам. Узагальнені дашборди допомагають швидко ідентифікувати ключові показники, тоді як деталізовані дані дають змогу глибоко аналізувати конкретні аспекти діяльності.

Візуальні конфігуратори сприяють підвищенню прозорості компанії. Вони дозволяють структурувати дані відповідно до вимог стандартів звітності, що забезпечує їхню зрозумілість і доступність для широкої аудиторії. Прозорість, у свою чергу, зміцнює довіру з боку інвесторів, партнерів, регуляторів і громадськості. Компанії, які активно використовують інноваційні технології для підвищення прозорості, формують репутацію відповідальних і прогресивних учасників ринку.

Інтеграція великих обсягів даних із різних джерел, таких як фінансові системи, платформи управління навколишнім середовищем чи корпоративні бази даних, є ще однією важливою функцією візуальних конфігураторів. Вони забезпечують автоматизацію аналізу, скорочують кількість помилок і значно прискорюють підготовку звітів. Крім того, завдяки можливостям прогнозування та моделювання, конфігуратори дозволяють виявляти закономірності в даних і прогнозувати потенційні сценарії розвитку, що є важливим для ухвалення стратегічних рішень.

Наукові підходи до ухвалення рішень підтверджують, що якісна візуалізація даних сприяє зниженню когнітивного навантаження та забезпечує більш обґрунтовані рішення. Візуальні конфігуратори дозволяють керів-

никам отримувати доступ до ключових показників у реальному часі, аналізувати ризики й можливості, моделювати сценарії та оцінювати вплив стратегічних рішень. Це значно підвищує якість управління та адаптивність компанії до змін у зовнішньому середовищі.

Використання візуальних конфігураторів також є важливим елементом формування іміджу інноваційної компанії, яка активно впроваджує цифрові рішення. Це створює конкурентну перевагу, підвищує лояльність клієнтів і партнерів, а також сприяє залученню інвесторів. У сучасному світі інноваційність є не лише інструментом підвищення операційної ефективності, але й ключовим фактором довгострокового успіху на ринку.

Візуальні конфігуратори є універсальним інструментом, який задовольняє потреби як стратегічного, так і операційного рівня управління. Вони дозволяють керівникам формувати довгострокові стратегії розвитку, контролювати досягнення цілей сталого розвитку та оперативно реагувати на відхилення в ключових показниках. Для операційних підрозділів конфігуратори забезпечують зручний доступ до необхідної інформації для моніторингу поточної діяльності та оптимізації ресурсів.

Візуальні конфігуратори є не просто технологічним рішенням, а стратегічним інструментом, який відповідає викликам сучасного бізнесу. Вони інтегрують великі обсяги даних, забезпечують адаптивність звітності, підвищують прозорість і довіру, підтримують прийняття обґрунтованих рішень та сприяють формуванню інноваційного іміджу компанії. Використання таких інструментів дозволяє компаніям не лише ефективніше управляти своєю діяльністю, але й зміцнювати свої позиції на ринку, відповідаючи очікуванням суспільства, регуляторів і стейкхолдерів.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-98-120

ЧЕРЕП Алла Василівна,

д-р екон. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: [0000-0001-5253-7481](https://orcid.org/0000-0001-5253-7481)

ОЛЕЙНИКОВА Людмила Григорівна,

д-р екон. наук,
ст. наук. співроб.,
Академія фінансового управління (Київ)
ORCID iD: [0000-0001-8204-4434](https://orcid.org/0000-0001-8204-4434)

НОСОВ Антон Дмитрович,

наук. співроб.,
Запорізький національний університет
ORCID iD: [0009-0005-0524-7533](https://orcid.org/0009-0005-0524-7533)

ЩЕРБИНА Іван Сергійович,

студент,
Запорізький національний університет
Україна

СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЕКОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ

Проблема екологічної стійкості набуває дедалі більшого значення через посилення екологічних криз, зміни клімату та зниження якості природних ресурсів, що ставить під загрозу можливість забезпечення сталого розвитку. Традиційні моделі економічного зростання не враховують довготривалі екологічні дослідження, що призвело до виснаження ресурсів і деградації довкілля. Відсутність комплексних підходів до регулювання та управління ресурсами на державному та корпоративному рівнях створює додаткову загрозу для майбутніх поколінь і погіршення екологічних проблем.

Вивченню цього явища присвячені роботи таких вчених: Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мельник Л. Г., Ракоїд О. О.¹, Клочко Т. А.², Лазоренко Т. В.³, Ко-

1 Стратегія сталого розвитку : підручник / В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, Л. Г. Мельник, О. О. Ракоїд ; за ред. проф. В. М. Боголюбова. Київ : ВЦ НУБіП України, 2018. 446 с.

2 Клочко Т. А. Сталый розвиток як фактор еколого-економічної безпеки. *Приазовський економічний вісник*. 2020. Вип. 3(20). С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-3-19> URL: http://rev.kpu.zp.ua/journals/2020/3_20_ukr/21.pdf

3 Лазоренко Т. В. Сталый розвиток як основа економічного зростання підприємства. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи* : зб. тез доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., 2021 р. С. 90–91. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/230477>

ломієць Л. В.⁴, Макошій С. Д.⁵, Пиріг Г. І., Лещик І. Б., Крупка А. Я.⁶, Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г., Нікітенко В. О.⁷, Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г.⁸.

Дослідження сучасних підходів до впровадження сталого розвитку з акцентом на забезпечення екологічної стійкості в умовах зниження стану довкілля та обмеженості природних ресурсів. Стаття визначає ефективні стратегії, які можуть бути застосовані на державному, корпоративному та суспільному рівнях для зменшення негативного впливу на природу та забезпечення тривалого розвитку.

Сьогодні, коли стала очевидною низька результативність уніфікованих механізмів регулювання стану довкілля, виникла об'єктивна необхідність здійснення ефективної екологічної політики, що вимагає відповідного теоретичного аналізу, осмислення її суті та змісту, оцінки сучасного стану, наукового обґрунтування шляхів її вдосконалення та механізмів реалізації. Україна має потенціал розробити концепцію стабільного розвитку, яка включає ефективне використання всіх видів ресурсів, адаптацію виробництва до структурно-технологічних змін, а також підтримку творчого

- 4 Коломієць Л. В. *Стратегія сталого розвитку*: навч. посіб. Кропивницький : КрНУ. 2019. 126 с.
- 5 Макошій С. Д. Зарубіжний досвід реалізації стратегії сталого розвитку. *Публічне управління і адміністрування в Україні*. 2017. Вип. 2. С. 22- 27. URL: <https://pag-journal.iei.od.ua/archives/2017/2-2017/7.pdf>
- 6 Пиріг Г. І., Лещик І. Б., Крупка А. Я. *Концептуальні аспекти стратегії сталого розвитку*. URL: <http://srd.pdaba.edu.ua:8080/bitstream/123456789/1503/1/Pyrih.pdf>
- 7 Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О. Г., Нікітенко В. О. Зелена економіка, економіка замкнутого циклу або низьковуглецева економіка як моделі економічного розвитку. *Education and sciences in the period of global crisis and conflicts in the XXI century* : collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the editorial board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 40–62. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/arhivMonographs/monograf_dezember_2023_016.pdf; Череп А.В., Воронкова В.Г., Нікітенко В.О., Череп О.Г. Становлення і розвиток «нової економіки» як різновиду «економіки знань». *Socio-humanitarian and technicaltechnological explorations of modern science* : collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the editorial board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS PublishingServices, 2023. P. 64-78. DOI: <https://doi.org/10.51587/9798-9866-95983-2023-015-79-9>
- 8 Череп А., Воронкова В., Череп О. Вплив глобальних трендів діджиталізації на сучасний економічний розвиток: нові можливості та виклики. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers* / ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia : Publishing house "Helvetica", 2023. 17(94). С. 200-208; DOI: <https://doi.org/10.32782/hst2023-17-94-21>; Воронкова В. Г., Череп А. В., Череп О. Г. Розвиток мережевої (інтернет-економіки) в умовах цифровізації: принципи, закони, тенденції розвитку. *Science and society: trends of interaction* : collective monograph / compiled by V. Shpak; chairman of the editorial board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 31-48. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/arhivMonographs/mono_2023_12.pdf; Череп А. В., Воронкова В. Г., Череп О.Г. Інноваційні європейські практики діджиталізації як ключовий чинник забезпечення соціально-економічної безпеки в умовах глобальних викликів. *Socio-Economic Relations in the Digital Society*, 2024. 3(53), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.55643/ser.3.53.2024.566>; Череп А., Воронкова В., Череп О. Цифровізація економіки як нова парадигма сталого розвитку і конкурентоспроможності. *Економіка та суспільство*, 2025, (78). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-75> URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/6526>; Череп А. В., Чепурна Т. А. Циркулярна економіка як інструмент досягнення цілей сталого розвитку. *Actual problems of economics*. 2024. № 12(282). С. 182- 189. URL: https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/12/12.24._topic_%D0%90lla-Cherep-Tatyana-Chepurna-182-189.pdf

потенціалу кожного громадянина для покращення економічної та екологічної ситуації в країні. Ідея стабільного розвитку потрібна не лише для нас зараз, а й для майбутніх поколінь, оскільки вона орієнтована на стале зростання та балансування потреб кожного покоління й кожної окремої людини. Такий хід думок сприяє ефективному використанню потенційних можливостей, підтримці балансу розвитку суспільства та захисту навколишнього середовища. Для вирішення основних економіко-екологічних завдань потрібно:

- впровадити сталий розвиток на рівень регіонів;
- макроекономічні реформи та підтримка національного виробника;
- створення політики, орієнтованої на економічне зростання;
- забезпечення духовного й фізичного розвитку особистості та соціальних гарантій;
- активізація міжнародної співпраці.

Слід зазначити, що в Україні вже зроблено певні кроки щодо законодавчого, економічного, інституціонального, наукового забезпечення екологічної політики. Створено законодавчу базу у сфері охорони довкілля та раціонального природокористування, сформовано систему органів державного управління екологічною безпекою, запроваджено економічний механізм регулювання стану довкілля та використання природних ресурсів, відпрацьовано схему фінансування природоохоронної діяльності; розширюється та поглиблюється міжнародне співробітництво у сфері охорони природи⁹. Питання сталого розвитку актуалізувалися для України в зв'язку з укладенням Угоди про Асоціацію між Україною, з одного боку, та Європейським Союзом з іншого боку (ратифікованої Законом України № 1678- VII від 16.09.2014)¹⁰. Згідно з цим, сприяння сталому розвитку розглядається одним з головних принципів посилення співпраці між сторонами, які визнають важливість повного врахування економічних, соціальних і екологічних інтересів не тільки свого відповідного населення, а й майбутніх поколінь і гарантують,

9 Пиріг Г. І., Лещик І. Б., Крупка А. Я. *Концептуальні аспекти стратегії сталого розвитку*. URL: <http://srd.pdaba.edu.ua:8080/bitstream/123456789/1503/1/Pyrih.pdf>

10 ЗАКОН УКРАЇНИ. Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 40, ст.2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text>

що економічний розвиток, екологічна та офіційна політика підтримується спільно¹¹.

Стратегія сталого розвитку (англ. – sustainable development) – це концепція, що охоплює розвиток людства, цивілізації в цілому або окремих соціумів, таких як країни чи регіони. Цю стратегію можна визначити як найбільш оптимальний шлях розвитку сучасної цивілізації, що орієнтується на максимальне задоволення природних потреб людини в гармонії з навколишнім середовищем та без соціальних проблем. Історія становлення концепції сталого розвитку почалася кілька десятиріч тому. До неї відносимо: наукові праці В. Вернадського про ноосферу, декларації, які прийняли під час проведення першої Конференції ООН із питань навколишнього середовища в Стокгольмі (1972 р.)¹², наукові доповіді Римського клубу, звіти, сформовані Всесвітньою комісією ООН із навколишнього середовища та розвитку (1987 р.)¹³, Конференцію ООН із проблеми поєднання розвитку та збереження природи у Ріо-де Жанейро в 1992 р.¹⁴ та Всесвітній саміт із питань сталого розвитку в Йоганнесбурзі в 2002 р.¹⁵. Термін «сталий розвиток» вперше застосував прем'єр-міністр Норвегії Гру Гарлем Брундланд у своєму звіті «Наше спільне майбутнє»¹⁶, підготовленому для ООН і опублікованій Міжнародній комісії з питань навколишнього середовища та розвитку в 1987 році. Вона визначила сталий розвиток як процес, що відповідає поточним потребам, але не поставив під загрозу можливість майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Це поняття було введено, щоб дослідити взаємозв'язки між людьми, суспільством і природою. Перше значення сталого розвитку виникає у забезпеченні безперервного збалансованого розвитку, при якому майбутні покоління мають рівноцінні можливості для задоволення своїх потреб у природних ресурсах, відповідно з нинішніми. Інше збереження біосфери як природної основи життя на Землі, а також забезпечення її

11 Макошій С. Д. Зарубіжний досвід реалізації стратегії сталого розвитку. *Публічне управління і адміністрування в Україні*. 2017. Вип. 2. С. 22–27. URL: <https://pag-journal.iei.od.ua/archives/2017/2-2017/7.pdf>

12 Kazak R. Konferentsiia OON u Stokholmi 1972 r.: znachennia dlia Ukrainy ta svitu. *Law. State. Technology*. 2022. № 1. С. 3–9. URL: <https://www.academia.edu/92771668>

13 Межі зростання. *Вікіпедія – вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Межі_зростання

14 Конференція ООН із проблеми поєднання розвитку та збереження природи (Ріо-де Жанейро, 1992). URL: <https://www.facebook.com/all.ukrainian.environmental.league/posts/772148565106773>

15 Всесвітній саміт із питань сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002 р.). URL: <https://www.un.org/ukr/conferences/environment/johannesburg2002>

16 Брундтланд Г. М. Наше спільне майбутнє : доп. Міжнар. комісії з довкілля та розвитку / пер. з англ. 1987. URL: https://www.appropedia.org/Our_Common_Future/uk

стабільного та природного розвитку. Володимир Вернадський¹⁷, який був досить відомим українським вченим, був один із перших, хто розумів глобальні проблеми розвитку людства як єдиного цілого з природою. Науковці з різних країн запропонували щонайменше 70 варіантів визначення терміну «тривалий розвиток». Однак, попри зусилля наукового співтовариства окреслити суть цього процесу, єдиного визначення не досягнуто, і натомість з'являються нові поняття, такі як «стійкий розвиток», «урівноважений розвиток», «екологічний розвиток» тощо. Сталий розвиток є складним і багатогранним поняттям, що підкреслює зв'язок між змінами довкілля та індивідуальною діяльністю кожної людини. Це зумовлює потребу у значних змінах у психологічній і особистісній свідомості для мінімізації негативних наслідків. Кожна глобальна проблема людства, у своїй суті, має індивідуальний вимір, який вимагає особистої відповідальності. То ж загалом стратегія сталого розвитку має на меті забезпечити стабільне економічне зростання суспільства, яке не шкодить довкіллю і гармонійно поєднується з соціальним прогресом. Вона є напрямом, що враховує потреби сучасного суспільства, одночасно піклуючись про майбутні покоління, а також визначає шляхи досягнення збалансованого розвитку, який не лише відповідає економічним вимогам, але й враховує екологічні та соціальні аспекти. Основною метою цієї стратегії є забезпечення гармонії між людиною і природою, що вимагає відповідального ставлення до ресурсів планети. Вона передбачає не лише зростання валового внутрішнього продукту, а й поліпшення якості життя населення. Це означає, що економічний прогрес має супроводжуватися соціальною справедливістю і захистом навколишнього середовища. У рамках цієї стратегії важливо формувати екологічну свідомість у громадян, адже їхні дії можуть істотно впливати на загальний стан довкілля. Сталий розвиток вимагає системного підходу, що забезпечує врахування інтересів різних груп населення. Цей підхід допомагає виявити та усунути соціальні нерівності, що можуть перешкоджати розвитку суспільства. Реалізація стратегії сталого розвитку сприяє формуванню більш стійких економік, здатних адаптуватися до змін у глобальному середовищі. У контексті глобалізації стратегія сталого розвитку стає осо-

17 Запорожан В. М. *Ноосферне мислення Вернадського*. НАМН України. 2019. URL: <https://amnu.gov.ua/noosferne-myslennya-vernadskogo/>

бливо актуальною, адже виклики, з якими стикається світ, вимагають колективних зусиль. Збереження біорізноманіття, запобігання змінам клімату та забезпечення енергетичної безпеки є лише кількома аспектами, які потребують уваги. Отже, стратегія сталого розвитку є не лише необхідністю, а й запорукою майбутнього благополуччя людства. Залучення молоді до процесів сталого розвитку допоможе формувати нову свідомість, спрямовану на збереження ресурсів та відповідальність за власні вчинки. Таким чином, реалізація цієї стратегії відкриває нові горизонти для всього суспільства, сприяючи не лише економічному зростанню, а й покращенню соціальної стабільності.

Приклади впровадження концепції сталого розвитку:

- ✓ будівництво доріг, будівель має супроводжуватися відповідним зростанням зелених насаджень, щоб не погіршувати стан довкілля;
- ✓ зростання виробництва зерна не повинно супроводжуватися виснаженням чи іншим погіршенням стану ґрунту;
- ✓ видобування корисних копалин (наприклад, металевих руд, вугілля) має супроводжуватися створенням підприємств, що не залежать від цього видобутку, щоб після вичерпання майбутні покоління (а часто й сучасні) не мали економічних проблем;
- ✓ у приватному сенсі – заробітна плата повинна компенсувати витрати на відновлення здоров'я, погіршене через виконання роботи;
- ✓ медичні препарати та хірургічні операції повинні не лише вирішувати наявну проблему, а й не спричиняти погіршення стану здоров'я пацієнта у майбутньому, часто це передбачає і здоров'я наступних поколінь¹⁸.

До завдань формування стратегії сталого розвитку можна віднести:

- дослідження стану соціальної, економічної, екологічної підсистем і процесів їх розвитку;
- вивчення природничо-наукових і соціально-економічних передумов прогресивного розвитку вказаних підсистем;

18 Сталий розвиток. *Вікіпедія – вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Сталий_розвиток; Череп, А., Воронкова, В., Череп, О. Цифровізація економіки як нова парадигма сталого розвитку і конкурентоспроможності. *Економіка та суспільство*. 2025. (78). URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-75> URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/6526>; Череп О. Г. Екологічне підприємство як основа сталого розвитку економіки. *Science, Innovations and Education: Problems and Prospects* : зб. тез доп. І Міжнар. наук.-практ. конф., Tokyo, 2021 р. С. 544–547. URL: <https://scientific-rating.znu.edu.ua/index.php?r=publication%2Fview&id=19233>

- оцінювання станів соціальної, економічної й екологічної підсистем в інтегрованих кількісних і якісних показниках;
- дослідження ролі інформаційних факторів в управлінні процесами переходу до сталого розвитку;
- розроблення концепцій і стратегій сталого розвитку територій, регіонів і країн;
- розроблення програм місцевих дій з охорони довкілля в контексті стратегії сталого розвитку;
- розроблення національних і місцевих планів дій з впровадження Стратегії ЄЕК ООН з освіти для сталого розвитку¹⁹;
- визначення комплексу індикаторів, необхідних для достовірного оцінювання станів соціальної, економічної й екологічної підсистем;
- обґрунтування управлінських рішень і розроблення заходів для цілеспрямованої трансформації соціальної, економічної й екологічної підсистем;
- районування територій і регіонів за рівнем розвитку соціально-економічних підсистем з урахуванням екологічних обмежень;
- формування механізмів реалізації управлінських рішень для забезпечення сталого розвитку соціально-економічних систем.

Якщо розглядати сталий розвиток з боку важливості для підприємств, то згідно з дослідженням Лазоренко Т. В.²⁰. Головною характеристикою сталого розвитку є можливість контролю усіх процесів на основі використання системного підходу і сучасних інформаційних технологій. Сталий розвиток підприємства забезпечується за рахунок поєднання та збалансування трьох складових діяльності кожного суб'єкта:

1. соціальна сфера (передбачення можливих проблем управління персоналом, формування якісної системи, орієнтованої на підтримку культурної і соціальної стабільності);
2. економічна сфера (зростання економічних показників ефективності завдяки раціональному використанню природних ресурсів та оптимізації бізнес-процесів організації);

19 Освіта в інтересах сталого розвитку в Україні. 2026. URL: <https://ecoosvita.org.ua/storinka/pro-nas>

20 Лазоренко Т. В. Сталий розвиток як основа економічного зростання підприємства. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи* : зб. тез доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., 2021 р. С. 90–91. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/230477>

3. екологічна сфера (орієнтація на цілісність та збереження фізичної та біологічної природних систем за допомогою екологізації виробничих процесів та забезпечення відповідної політики діяльності організації, впровадження корпоративної та соціальної відповідальності)²¹.

Взаємозв'язок між цими складовими зумовленими тим, що підвищення лише економічних показників не вирішить соціальні проблеми і не забезпечить екологічної стійкості. Концепція стійкого розвитку пропонує поєднаний підхід у діяльності компаній, який забезпечує баланс між соціальними, економічними та екологічними цілями підприємства, їх інтеграцію та взаємодію. Таким чином, передбачено синхронізацію темпів економічного зростання з темпами відновлення природних ресурсів, що дозволяє досягти гармонії у розвитку. Оцінювання ж стійкості підприємства здійснюється через визначення низки показників, які відображають стан розвитку в трьох основних напрямках діяльності: економічному, соціальному та екологічному. Обчислення таких показників дозволяє оцінити поточний стан діяльності та передбачити можливість проблемних аспектів. зазвичай, головна увага приділяється фінансовій підсистемі, часто залишаючи соціальні й екологічні аспекти поза увагою. Однак заходи, спрямовані на покращення саме цих напрямків, здатні комплексно підвищити загальну ефективність діяльності, виключно з фінансовими результатами. Оцінка стійкості розвитку дає можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, враховуючи доступні ресурси та стан ринку.

У короткотерміновій перспективі стратегічною метою України у процесі переходу до сталого розвитку має стати подолання наслідків криз (зокрема, соціо-економічної, екологічної та інституціональної), що винулися при формуванні ринкової економіки та демократичного громадянського суспільства, а також при реформуванні судової, земельної та інших інституціональних систем держави. Щоб забезпечити рух до сталого розвитку Україні необхідно, в першу чергу, забезпечити:

Економічну стабільність – шляхом створення соціально й екологічно ефективної економіки, яка б забезпечувала гідний рівень життя громадян і конкурентоспроможність продукції.

21 Там само.

Екологічну безпеку – шляхом поліпшення стану і якості навколишнього середовища, збереження і відновлення порушених природних екологічних систем та зниження рівня викидів і скидів забруднюючих речовин тощо.

Соціальний достаток, головною метою якого є подовження середньої тривалості життя населення, забезпечення можливості отримання якісної медичної допомоги, розвиток соціальної інфраструктури, соціальний захист уразливих груп населення, планування родини та раціоналізація особистого споживання, розвиток соціальної активності людей, тощо. У довготерміновій перспективі акценти розвитку суспільства повинні зміщуватись з економічного зростання на соціально-екологічний розвиток, а з матеріальних цінностей – на морально-етичні та інформаційні²². Але чи можна говорити про те, що сьогодні, наприклад, важливіший підйом економіки, а вирішення питань підвищення добробуту населення і збереження навколишнього середовища можна пригальмувати, або ж зосередитися в основному на проблемах екології, не розвиваючись економічно і соціально? Завдання довгострокового сталого розвитку необхідно вирішувати на основі комплексного, системного, коеволюційного й інтеграційного підходу через встановлення механізмів взаємодії між вказаними трьома основними складниками. Системність реалізації завдань економічного, соціального й екологічного розвитку в концепції сталого розвитку передбачає наявність зворотного зв'язку і можливість прийняття обґрунтованих управлінських рішень²³.

Висновки. Довгострокова стратегія України щодо євроінтеграції передбачає поступову адаптацію національного природоохоронного законодавства до стандартів ЄС, а також створення дієвих механізмів для їх ефективного впровадження. Результативність цих зусиль значною мірою залежить від швидкості проведення екологічних реформ, які нині ак-

22 Стратегія сталого розвитку : підручник / В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, Л. Г. Мельник, О. О. Ракоїд ; за ред. проф. В. М. Боголюбова. Київ : ВЦ НУБіП України, 2018. 446 с.; Череп А. В., Мертарчян К. О. Green economy: principles, structure and implementation tools. *Financial strategies of innovative economic development* : proceedings scientific publications. Odesa : Publishing House "Helvetica", 2021. Iss. 4(52). P. 9–14; Cherep A., Voronkova V., Venherska N. European Practices of Rural Green Tourism: Challenges and Prospects. *Baltic Journal of Economic Studies*. Riga : Baltija Publishing, 2023. Vol. 9, no. 5. P. 275–290. URL: <https://www.baltijapublishing.lv>; Voronkova V., Nikitenko V., Oleksenko R., Cherep A., Cherep, O., & Harbar H. El desarrollo creativo del concepto de Ecoturismo verde como factor de desarrollo sostenible. *Revista de la Universidad del Zulia*. 2023. Vol. 15, no. 42. P. 370–388. DOI: <https://doi.org/10.46925/rdluz.42.21>

23 Ключко Т. А. Сталий розвиток як фактор еколого-економічної безпеки. *Приазовський економічний вісник*. 2020. Вип. 3(20). С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-3-19> URL: http://pev.kpu.zp.ua/journals/2020/3_20_ukr/21.pdf

тивно впроваджуються в країні. З огляду на сучасні тенденції розвитку економіки, зокрема її високий рівень енерго- та ресурсоемності, переважно є потреба в нових формах міжнародної співпраці, що необхідно мобілізувати як внутрішні, так і зовнішні ресурси України для охорони, від формування та сталого управління довкіллям. Важливим завданням є розробка наукових підходів до організаційних механізмів впровадження ринкових реформ в Україні у тісному зв'язку з екологічними аспектами та орієнтацією на сталий розвиток. Лише в такому контексті можна подолати існуючий конфлікт між економічною діяльністю та охороною довкілля, відкриваючи для країни перспективу стійкого економічного зростання. Здійснення політики сталого розвитку потребує змін в організаційній структурі, інформаційній системі, а також перекваліфікації працівників, зокрема підвищення їх екологічної обізнаності та розуміння важливості таких ініціатив. Внутрішня та зовнішня звітність дозволяє оцінити досягнуті результати, порівняти їх з плановими показниками та прийняти рішення щодо деяких заходів. Невід'ємним елементом сталого розвитку є принципи та прозорість доступу до інформації, формуючи репутацію та підвищуючи популярність бренду підприємства. У рамках структурної перебудови макроекономічної моделі розвитку важливо не лише зупинити діяльність екологічно небезпечних та застарілих підприємств, а й забезпечити інтенсивне впровадження сучасних, конкурентоспроможних і безпечних виробництв. Тільки таким чином Україна зможе гідно інтегруватися в світовий економічний простір, забезпечити необхідний рівень економічної і екологічної безпеки і високі соціоекологічні показники.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-121-130

ЧЕРЕП Олександр Григорович,

д-р екон. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: [0000-0002-3098-0105](https://orcid.org/0000-0002-3098-0105)

ФАЙЗУЛІНА Світлана Айгалівна,

канд. екон. наук, доцент,
Північно-Казахстанський університет
ім. Манаша Козибасєва,
Петропавловськ, Казахстан
ORCID iD: [0000-0002-9925-5075](https://orcid.org/0000-0002-9925-5075)

СВІТЛИЙ Дмитро Олександрович,

канд. екон. наук,
Головний фінансовий директор ТОВ «Онїкс-Софт»
ORCID iD: [0009-0009-6270-7240](https://orcid.org/0009-0009-6270-7240)

БОЙЧУК Анастасія Сергіївна,

студентка,
Запорізький національний університет,
Україна

ДОСВІД КРАЇН ЄС ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У сучасних умовах глобалізації та стрімкого розвитку інформаційних технологій, цифровізація стає визначальним фактором підвищення конкурентоспроможності підприємств. Особливо це стосується маркетингової діяльності, яка зазнає суттєвих трансформацій під впливом цифрових технологій. Традиційні підходи до просування товарів і послуг поступаються місцем інноваційним інструментам, таким як аналітика великих даних, штучний інтелект, автоматизація маркетингових процесів, соціальні медіа та омніукальні комунікації.

Цифровізація є одним із ключових напрямів трансформації сучасної економіки, що передбачає широке використання цифрових технологій у виробництві, маркетингу, державному управлінні, фінансовій сфері, освіті, медицині, торгівлі та повсякденному житті населення.

Її сутність полягає не лише у впровадженні комп'ютерів, програмного забезпечення чи електронних послуг, а й у глибокій зміні способів орга-

нізації економічної діяльності, управління ресурсами, взаємодії підприємств із державою та споживачами.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вивчення та узагальнення передового досвіду країн ЄС у сфері цифрового маркетингу для його подальшого застосування в Україні. В умовах цифрової трансформації економіки українські підприємства потребують сучасних підходів до організації маркетингової діяльності, що дозволить їм ефективніше функціонувати як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках.

Метою статті є дослідження досвіду країн Європейського Союзу щодо підвищення ефективності маркетингової діяльності за допомогою цифрових технологій, а також визначення можливостей його адаптації в Україні. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: розкрити сутність цифрового маркетингу, проаналізувати основні напрями цифровізації маркетингової діяльності в країнах ЄС, дослідити практичні кейси використання цифрових технологій, а також визначити основні проблеми та перспективи їх впровадження.

Цифровізація сприяє: підвищенню продуктивності праці; автоматизації виробничих та управлінських процесів; скороченню адміністративних і транзакційних витрат; підвищенню ефективності маркетингових комунікацій, розвитку електронної торгівлі та цифрових фінансових послуг; формуванню нових бізнес-моделей; розвитку штучного інтелекту, робототехніки та інтелектуальних систем управління; підвищенню доступності державних послуг; посиленню конкурентоспроможності національних економік¹.

Водночас цифрова трансформація створює нові виклики, пов'язані з кібербезпекою, захистом персональних даних, цифровою нерівністю, нестачею кваліфікованих кадрів і необхідністю значних інвестицій.

1 Cherep A. V., Reva D. S. Genesis of marketing concept transformation in managing the company. *Financial strategies of innovative economic development* : proceedings scientific publications. Odesa : Publishing House "Helvetica", 2022. Iss. 3(55). P. 122–128. URL: <https://journalsofznu.zp.ua/index.php/economics/issue/view/159>; Cherep A. V., Reva D. S. Feasibility of company's management using conceptual marketing in the process of ensuring viability of domestic enterprises. *Financial strategies of innovative economic development* : proceedings scientific publications. Odesa : Publishing House "Helvetica", 2022. Iss. 4(56). P. 89–95. URL: <https://journalsofznu.zp.ua/index.php/economics/issue/view/162>; Маркетинг : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищ. освіти бакалавра освіт.-проф. програм «Маркетинг», «Облік і аудит», «Фінанси і кредит», «Економічна кібернетика», «Міжнародна економіка», «Управління персоналом і економіка праці». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 124 с.; Маркетинг : навч. посібн. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2021. 728 с.; Череп О. Г., Коцербуба А. В. Formation of the system of marketing product policy. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки»*. 2021, № 1. С. 320– 323; Череп О. Г., Коцербуба А. В. Marketing pricing in a free market. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки»*. 2021, № 2. С. 140– 144

Україна та Європейський Союз розвивають цифрову економіку в межах спільної тенденції до технологічної модернізації, але мають різні стартові умови, інституційні особливості та пріоритети.

Для України цифровізація має особливе значення як інструмент модернізації економіки, забезпечення стійкості держави в умовах війни та повоєнного відновлення. Для ЄС вона є важливим напрямом формування єдиного цифрового ринку, підвищення технологічної автономії та конкурентоспроможності європейської економіки.

Цифровізація України відбувається як комплексний процес, що охоплює державне управління, підприємництво, фінансову систему, освіту, охорону здоров'я та інфраструктуру. Особливістю українського досвіду є активний розвиток цифрових державних послуг, електронної ідентифікації та інтеграції цифрових рішень у повсякденну взаємодію громадян із державою.

Важливим напрямом є зближення української цифрової системи з цифровим простором ЄС.

Україна бере участь у програмі «Цифрова Європа» (Digital Europe Programme), що підтримує розвиток цифрових навичок, штучного інтелекту, суперкомп'ютерних технологій та інших напрямів цифрової трансформації.

У квітні 2025 року Європейський Союз повідомив про результати проекту DT4UA, спрямованого на підтримку цифрового шляху України до ЄС. Серед результатів – удосконалення цифрових державних послуг, покращення сумісності систем, створення нових інтегрованих і оновлення наявних електронних сервісів, а також визнання «Дія.Підпису» в ЄС².

Це важливо для економіки, оскільки сумісність цифрових систем може спростувати транскордонну взаємодію підприємств, обмін документами та надання послуг.

Країни Європейського Союзу демонструють значні досягнення у впровадженні цифрових технологій у сферу маркетингу. Завдяки системній державній політиці, розвитку цифрової інфраструктури та активному використанню інновацій бізнесом, європейські компанії успішно підвищують ефективність своєї маркетингової діяльності, забезпечуючи більш

2 Україна, ЄС та eGA запровадили понад 150 цифрових послуг у межах проекту DT4UA. Державне агентство з питань електронного урядування / Міністерство цифрової трансформації. 2025. URL: <https://digitalstate.gov.ua/uk/news/govtech/ukrayina-yes-ta-ega-zaprovadyly-ponad-150-tsyfrovykh-posluh-u-mezakh-proyektu-dt4ua>

точне розуміння потреб споживачів, персоналізацію пропозицій та оптимізацію витрат.

У сучасній економіці маркетинг перестав бути лише інструментом збуту продукції і трансформувався у комплексну систему управління взаємовідносинами з клієнтами. Особливо помітними ці зміни стали під впливом цифрових технологій, які кардинально змінили підходи до аналізу ринку, взаємодії зі споживачами та просування товарів і послуг. Якщо раніше маркетинг базувався переважно на масових комунікаціях і стандартизованих підходах, то сьогодні ключовим стає індивідуалізований підхід до кожного споживача.

Цифровий маркетинг являє собою сучасну форму маркетингової діяльності, що використовує цифрові канали комунікації для досягнення маркетингових цілей. Його особливістю є інтерактивність, можливість швидкого зворотного зв'язку та використання великого обсягу даних для прийняття управлінських рішень. Основною перевагою цифрового маркетингу є здатність адаптувати маркетингові стратегії до конкретних потреб споживачів у реальному часі.

Значну роль у розвитку цифрового маркетингу відіграють такі технології, як Big Data, штучний інтелект, машинне навчання та автоматизація процесів. Використання великих масивів даних дозволяє підприємствам аналізувати поведінку споживачів, визначати їхні потреби та прогнозувати майбутні дії³. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності маркетингових заходів і зменшенню витрат.

Важливою характеристикою цифрового маркетингу є також його багатоканальність. Підприємства використовують різноманітні канали комунікації, такі як соціальні мережі, веб-сайти, мобільні додатки, електронну пошту та інші цифрові платформи. Це дозволяє охоплювати широкую аудиторію та забезпечувати більш ефективну взаємодію з клієнтами.

Країни Європейського Союзу є одними з лідерів у впровадженні цифрових технологій у сферу маркетингу. Це зумовлено як високим рівнем економічного розвитку, так і активною державною політикою, спрямованою на підтримку цифровізації. ЄС створює сприятливі умови для розвитку

3 Гнітецький Є. В. Big Data в маркетингу: орієнтація на споживача. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2017. Вип. 14. URL: https://ev.fmm.kpi.ua/article/view/108730?utm_source=chatgpt.com; Малик Р. А. Формування digital-стратегії виходу на ринок із використанням ІІІ та Big Data. *СумДУ*. 2025. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/items/60a940d5-4a61-4336-b162-6782cab4ead1>

цифрової економіки, що включає розвиток інфраструктури, підтримку інновацій та формування єдиного цифрового ринку.

Одним із ключових факторів цифрової трансформації є розвиток інтернет-інфраструктури та широке поширення цифрових технологій серед населення. У більшості країн ЄС спостерігається високий рівень проникнення інтернету, що створює широкі можливості для розвитку електронної комерції та цифрового маркетингу. Підприємства активно використовують цифрові платформи для просування своїх продуктів і послуг, що дозволяє їм виходити на нові ринки та залучати нових клієнтів.

Важливу роль відіграє також державне регулювання. Європейський Союз активно впроваджує нормативні акти, спрямовані на захист персональних даних, розвиток цифрових технологій та підтримку інновацій. Зокрема, регламент GDPR встановлює чіткі правила щодо обробки персональних даних, що сприяє підвищенню довіри споживачів до цифрових сервісів⁴.

Цифрова трансформація маркетингу в країнах ЄС також характеризується високим рівнем цифрової зрілості бізнесу. Підприємства активно впроваджують сучасні технології, використовують аналітику даних, автоматизують маркетингові процеси та впроваджують інноваційні підходи до взаємодії з клієнтами⁵.

Компанії збирають і аналізують інформацію про поведінку споживачів, що дозволяє їм формувати більш точні маркетингові стратегії та підвищувати ефективність рекламних кампаній.

Не менш важливим є впровадження систем автоматизації маркетингу. Використання CRM-систем дозволяє підприємствам ефективно управляти взаємовідносинами з клієнтами, зберігати інформацію про них та використовувати її для персоналізації маркетингових пропозицій. Чат-боти та інші інструменти штучного інтелекту забезпечують швидку та ефективну комунікацію з клієнтами, що значно підвищує рівень їх задоволеності⁶.

4 Легенчук С. Ф., Завалій Т. О. Big Data в маркетинговій аналітиці: можливості та проблеми використання. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю та аналізу*. 2023, № 1(54). URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/8175>

5 Cherep O., Kaliuzhna Y., Mykhailichenko L., Markova S., & Naumenko Y. Formation of a strategy for countering and identifying AI technologies in the fight against disinformation under martial law. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. Vol. 2, no. 2(82). P. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.327157> URL: <https://journals.urau.ua/tarp/article/view/327157>

6 Digital-маркетинг - що це, види і приклади цифрового маркетингу. 2025. URL: <https://yak.koshachek.cx.ua/articles/digital-marketing-shho-ce-vidi-i-prikladi.html>; Конкретні приклади цифрового маркетингу. Alconost. URL: https://alconost.digital/uk/case-studies?utm_source=chatgpt.com

Соціальні мережі відіграють ключову роль у маркетинговій діяльності європейських компаній. Вони використовуються не лише для просування продукції, але й для формування бренду, взаємодії з клієнтами та отримання зворотного зв'язку. Контент-маркетинг стає важливим інструментом залучення аудиторії та формування довгострокових відносин із клієнтами.

Особливу увагу приділяється персоналізації маркетингових комунікацій. Завдяки використанню аналітики даних підприємства можуть створювати індивідуальні пропозиції для кожного клієнта, що значно підвищує ефективність маркетингових заходів. Омніканальний підхід дозволяє інтегрувати різні канали комунікації та забезпечити безперервний клієнтський досвід⁷.

Ефективність використання цифрових технологій у маркетинговій діяльності оцінюється за допомогою різноманітних показників. Серед них особливе значення мають показники конверсії, окупності інвестицій, рівня залучення клієнтів та вартості їх залучення. Аналіз цих показників дозволяє підприємствам оцінювати результативність маркетингових кампаній та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Досвід країн ЄС свідчить про те, що використання цифрових технологій сприяє значному підвищенню ефективності маркетингової діяльності. Підприємства, які активно використовують цифрові інструменти, демонструють більш високі показники продажів, кращу взаємодію з клієнтами та вищий рівень їх задоволеності.

Незважаючи на значні переваги, впровадження цифрових технологій у маркетинг супроводжується певними проблемами та викликами. Одним із найбільш актуальних є питання захисту персональних даних. Жорсткі вимоги до їх обробки обмежують можливості використання деяких маркетингових інструментів, але водночас підвищують довіру споживачів.

Ще одним важливим викликом є кібербезпека. Зростання обсягів даних та активне використання цифрових технологій збільшують ризик кіберзагроз, що потребує додаткових інвестицій у захист інформації.

Також слід відзначити нерівномірність цифрового розвитку країн ЄС. Деякі країни мають більш високий рівень цифровізації, тоді як інші відстають у цьому процесі. Це створює певні диспропорції у розвитку маркетингової діяльності.

7 Маркетинг багатомовного цифрового контенту. Alconost. <https://alconost.digital/uk>

Окремою проблемою є дефіцит кваліфікованих кадрів у сфері цифрового маркетингу. Підприємства потребують фахівців, які володіють сучасними технологіями та здатні ефективно використовувати їх у практичній діяльності.

Для України досвід країн ЄС є надзвичайно важливим, оскільки він дозволяє адаптувати найкращі практики та підвищити ефективність маркетингової діяльності. Впровадження цифрових технологій може стати важливим фактором підвищення конкурентоспроможності українських підприємств як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках.

Одним із ключових напрямів є впровадження сучасних систем управління взаємовідносинами з клієнтами, використання аналітики даних та автоматизації маркетингових процесів. Це дозволить підприємствам більш ефективно взаємодіяти з клієнтами та підвищити результативність маркетингових заходів.

Перспективи розвитку цифрового маркетингу в Україні пов'язані з розвитком ІТ-сектору, зростанням електронної комерції та інтеграцією з європейським ринком. Важливим є також розвиток цифрових навичок та підвищення рівня цифрової грамотності.

Вважаємо, що до рекомендацій щодо підвищення векторів цифровізації можна віднести: інвестувати в цифрові технології; розвивати цифрові навички; використовувати data-driven підхід.

Висновки. Таким чином, досвід країн Європейського Союзу свідчить про те, що цифрові технології є ключовим фактором підвищення ефективності маркетингової діяльності. Їх використання дозволяє підприємствам більш точно визначати потреби споживачів, підвищувати ефективність маркетингових заходів та забезпечувати високий рівень конкурентоспроможності.

Для України важливо не лише вивчати цей досвід, але й активно впроваджувати його з урахуванням національних особливостей. Це дозволить забезпечити сталий розвиток підприємств та їх успішну інтеграцію у світову економіку.

ЧЕРЕП Алла Василівна,

д-р екон. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0001-5253-7481

АНТОЛІК Оксана Миколаївна,

здобувач третього освітнього рівня (доктор філософії),
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0009-0000-6506-2956
Україна

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ ВЕЛИКОБРИТАНІЇ ТА УКРАЇНИ: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВИКЛИКИ

У сучасному світі цифрові технології стають невід'ємною частиною діяльності громадських організацій. Великобританія, як одна з провідних країн у сфері інновацій, демонструє значний прогрес у цифровізації своїх неурядових громадських організацій (НГО). У цьому розділі буде досліджено рівень цифровізації громадських організацій у Великобританії, основні тенденції, досягнення та виклики, з якими вони стикаються.

У Великій Британії налічується приблизно 166 000 волонтерських організацій. Ця цифра включає широкий спектр організацій, від невеликих громадських груп до великих благодійних організацій зі значним доходом. Більшість цих організацій є невеликими, з доходом менше 100 000 фунтів стерлінгів. Фінансуються громадські організації переважно за рахунок державних грантів, пожертв та збору коштів на цифрових благодійних платформах¹.

Громадські організації у Великій Британії дуже різноманітні за сферами діяльності, масштабами та організаційною структурою. Деякі організації, наприклад СУБ, мають велику кількість членів та розгалужену мережу відділень, інші можуть бути меншими, але також важливими для своїх спільнот. Громади українців у Великій Британії, наприклад, зосереджені у певних регіонах, таких як Лондон, Ланкашир та інші. Громадські

¹ Kavkalo Maryna. 10 волонтерських організацій Лондона для тих, хто хоче допомагати іншим. *UA Platform*. 2025. URL: <https://ua-platform.com/10-volonterskih-organizacij-londona-dlja-tih-hoche-dopomagati-inshim>; Як фінансуються благодійні організації у Великій Британії? *Kick*. 2026. URL: <https://kick.gov.cx.ua/ukraincyam/yak-finansuyutsya-blagodiyni-organizacii-u-velikobritanii.html>

організації грають важливу роль у житті британського суспільства, надаючи підтримку та сприяючи розвитку різних сфер.

Стан цифровізації. За даними досліджень, проведених у 2022 році, близько 85% громадських організацій у Великобританії активно використовують цифрові технології для покращення своєї роботи. Це включає в себе використання соціальних мереж для залучення донорів, онлайн-платформи для збору коштів та електронні системи управління проектами.

Основні тенденції. Соціальні мережі: багато організацій використовують платформи, такі як Facebook, Twitter та Instagram, для комунікації з громадськістю та підвищення обізнаності про свою діяльність. Це дозволяє швидко реагувати на потреби спільноти та залучати нових підтримувачів.

Пандемія COVID-19 прискорила перехід до онлайн-збору коштів. Платформи, такі як JustGiving та GoFundMe, стали популярними інструментами для збору фінансування на різноманітні проекти². Крім того, громадськими організаціями Великобританії активно використовуються цифрові платформи для волонтерів, завдяки чому зростає кількість платформ, які полегшують пошук волонтерів та організацію їхньої діяльності. Це допомагає НУО ефективніше управляти своїми ресурсами, розширювати склад команди, нести культури волонтерства у суспільство.

Завдяки потужній матеріально-технічній базі і комплексному використанню інструментів цифровізації, громадські організації Великобританії досягли значного прогресу у впровадженні цифрових технологій. Наприклад, багато з них змогли автоматизувати свої процеси, що призвело до підвищення ефективності та зменшення витрат. Також зросла доступність інформації для громадськості, що сприяє більшій прозорості в їхній діяльності.

Незважаючи на досягнення, багато організацій стикаються з низкою викликів, таких як брак ресурсів: не всі НГО мають достатньо фінансування для впровадження нових технологій. Це обмежує їхню здатність адаптуватися до цифрових змін. Також важливим аспектом є технічна грамотність: деякі працівники і волонтери можуть не мати необхідних навичок для ефективного використання нових технологій. Це може стати бар'єром для впровадження цифрових рішень. Крім того, слід враховувати, що з ро-

2 Пандемія спровокувала бум онлайн-продажів — дослідження ООН. *PaySpace Magazine*. 2021. URL: <https://psm7.com/uk/e-commerce/pandemiya-sprovocirovala-bum-onlajn-prodazh-issledovanie-onn.html>

стом цифровізації зростають і ризики, пов'язані з кіберзлочинністю і Великобританія, як і інші країни не є виключенням. Громадські організації повинні бути готовими захищати свої дані і дані своїх клієнтів.

Згідно дослідження, яке було проведено Міністерством культури, ЗМІ та спорту Великобританії наприкінці 2023 року, на тему як цифрові інструменти зараз підтримують волонтерство в Англії, та як можна покращити їхню роль у підтримці та просуванні волонтерства в майбутньому, яке включало огляд існуючої літератури та аналіз ринку цифрових інструментів, що підтримують волонтерство, а також 39 онлайн-поглиблених якісних інтерв'ю з різними експертами з цифрових технологій, постачальниками цифрових інструментів та організаціями, що залучають волонтерів (BOB), а також волонтерами з досвідом використання цифрових інструментів (проведено з серпня 2023 року по лютий 2024 року)³.

Дослідження виявило широкий консенсус серед експертів, постачальників послуг, BIO та волонтерів щодо того, що цифрові інструменти корисні для волонтерства.

Наприклад, шляхом розширення охоплення та інклюзивності можливостей волонтерства, економії часу волонтерів та організацій, що займаються волонтерством, а також надання волонтерам гнучкості у пошуку можливостей, що відповідають їхнім потребам.

Однак численні перешкоди означають, що ступінь реалізації цих переваг на практиці різниться.

Наразі використання та позитивний вплив цифрових інструментів обмежені низкою перешкод. До них належать низька обізнаність представників організацій, що займаються громадською діяльністю (VIO), та волонтерів про спектр пропонованих цифрових інструментів, низький рівень цифрової грамотності, прогалини у навичках цифрової трансформації серед VIO, а також обмежені можливості та ресурси VIO.

Цифровий ринок фрагментований, з обмеженою сумісністю інструментів. Це може бути пов'язано зі симулятивним характером розвитку ринку цифрових інструментів у Великій Британії, але можна вважати, що це підживлює проблеми, пов'язані з обізнаністю та впровадженням цифрових інструментів. Крім того, було виявлено, що низька сумісність

³ Digital tools that support volunteering. GOV.UK. 2025. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/digital-tools-that-support-volunteering/digital-tools-that-support-volunteering>

створює додаткову роботу для деяких віртуальних індустріальних організацій (VIO).

Існує єдиний консенсус щодо принципів того, як виглядає «добро». Експерти, постачальники та віртуальні інвестори (VIO) зазвичай закликали до цифрових інструментів та ринку цифрових інструментів, який є: стратегічний, фінансово стійкий, відкритий для нових учасників ринку, інновацій та технологій, легко орієнтуватися та краще позначений показниками, сумісними та інтегрованими з місцевими організаціями волонтерської інфраструктури як Волонтерські центри (ВЦ) та Ради волонтерських служб (РВС), такими як Волонтерські центри (ВЦ) та Ради волонтерських служб (РВС)⁴.

Зрозуміло, що між різними опитаними групами існують певні суперечності щодо того, як найкраще реалізувати потенціал цифрових інструментів. Наприклад, як збалансувати бажання мати більш зручний ринок (з потенційно меншим асортиментом пропонованих інструментів) з бажанням ринку, який залишається відкритим для нових учасників і сприяє конкуренції та інноваціям.

Подальша взаємодія з сектором та використання уроків, отриманих у результаті відповідних державних заходів, будуть важливими для реалізації потенціалу цифрових інструментів. Дослідження показує, що існує очевидний попит на посилення стратегічного лідерства та підтримки з боку DCMS, щоб визначити чіткий напрямок розвитку цього сектору.

Як висновок, можна зазначити, що цифровізація громадських організацій у Великобританії відкриває нові можливості для покращення їхньої діяльності та залучення підтримки. Проте важливо враховувати виклики, з якими вони стикаються, і працювати над їх подоланням. Інвестиції в навчання, технології та кібербезпеку стануть ключем до успішної цифровізації недержавних громадських організацій у майбутньому.

У XXI столітті цифрові технології стали ключовими інструментами для розвитку громадських організацій (НГО) по всьому світу. Великобританія, як одна з провідних країн у цій сфері, демонструє значний прогрес у цифровізації своїх НГО, але не досконалість⁵. Україна, в свою чергу, також активно впроваджує цифрові технології в діяльність своїх організацій. Цей

4 Молодіжні центри та волонтерство: як це працює? *Volunteer.Country*. 2025. URL: <https://volunteer.country/library/molodizni-centri-ta-volonterstvo-ia-k-ce-praciuje>

5 UK DIGIT / Фонд Східної Європи. URL: <https://eef.org.ua/program/uk-digit/>

розділ порівнює рівень цифровізації громадських організацій в Україні та Великобританії, висвітлюючи основні досягнення, виклики та тенденції.

Якщо досліджувати загальний стан цифровізації, Великобританія має розвинену інфраструктуру для цифровізації НГО. За даними досліджень, близько 85% організацій використовують цифрові платформи для комунікації, збору коштів та управління проектами. В Україні, незважаючи на менший рівень розвитку цифрових технологій, близько 60% НГО вже активно впроваджують цифрові інструменти, особливо після початку повномасштабного вторгнення, коли потреба в ефективній комунікації та зборів коштів стала критично важливою.

В обох країнах соціальні мережі стали важливим інструментом для залучення підтримки. В Україні НГО активно використовують Facebook, Telegram та Instagram для комунікації з громадськістю, тоді як у Великобританії спостерігається більш широкий спектр платформ, включаючи Twitter і LinkedIn⁶.

У Великобританії онлайн-платформи, такі як JustGiving, стали стандартом для збору коштів. В Україні аналогічні платформи, такі як МояСправа та Спільнокошт, набирають популярність, але їх використання поки що не є таким поширеним і вагома кількість НДО не використовує їх через низьку чисельність переглядів публікацій.

У Великобританії існує безліч платформ для залучення волонтерів, таких як VolunteerMatch⁷. В Україні цей процес також активізується, але поки що більшість організацій покладаються на традиційні методи залучення волонтерів через особисті контакти, так само до короткострокового виконання завдань в Україні часто задіяним є адміністративний ресурс. Такі випадки ми можемо спостерігати, коли керівництво організацій без згоди працівників направляє їх на допомогу НГО.

Великобританія досягла значних успіхів у цифровізації своїх НГО. Автоматизація процесів і використання аналітики даних дозволяють організаціям підвищувати ефективність своєї роботи. В Україні НГО також демонструють прогрес, особливо в контексті швидкої адаптації до нових

6 З яких джерел українці найчастіше черпають інформацію: розбір для бізнесу та політиків. MAS Agency. 2026. URL: https://mas-agency.com.ua/blog/article/?id=116&srsId=AU7gw4V7G_SWCdFujM1d4NzQOKSPFdHH5fNBElsXbln0nuNQwDnNsXpB

7 Find volunteering opportunities. NCVO. URL: <https://www.ncvo.org.uk/get-involved/volunteering/opportunities/>

умов під час війни. Багато з них змогли налагодити онлайн-збори коштів і створити інформаційні кампанії в соціальних мережах.

Обидві країни стикаються з викликами у сфері цифровізації такими як фінансування: у Великобританії багато НГО мають доступ до грантів та фінансування для впровадження нових технологій. В Україні ж фінансова нестабільність і обмежене фінансування часто стають перешкодою для впровадження цифрових рішень. Так само на рівень цифровізації впливає технічна грамотність залученого до виконання завдань персоналу. В Україні багато працівників НУО не мають достатніх навичок для ефективного використання нових технологій. У Великобританії ситуація краща завдяки наявності навчальних програм і ресурсів.

Кібербезпека: обидві країни стикаються з ризиками кіберзлочинності. Проте в Україні проблема кібербезпеки стає особливо актуальною через війну та зростаючі загрози з боку зовнішніх акторів. Відсоток розкриття кіберзлочинів в Україні коливається, але загалом, за оцінками, становить близько 50%. Однак, варто зазначити, що цей показник може значно відрізнятися в залежності від типу злочину та інших факторів. Наприклад, рівень розкриття кібершахрайств може бути близько 30%, тоді як у банківській сфері, за окремими оцінками, повернення вкрадених коштів становить до 80%.

У Великій Британії, приблизно 30% громадських організацій зазначили, що зазнали кібератак. При цьому, 52% випадків інтернет-шахрайства розкриваються протягом доби ⁸.

Висновки. Цифровізація громадських організацій в Україні та Великобританії демонструє різні рівні розвитку та впровадження технологій. Хоча Великобританія має більш розвинену інфраструктуру і доступ до ресурсів, українські НГО показують значну гнучкість і адаптивність у складних умовах. Ми спостерігаємо різні рівні розвитку- Великобританія, завдяки своїй стабільній економіці та тривалій історії підтримки НГО з боку держави та приватного сектору, має розвинену екосистему для цифровізації. Багато організацій використовують сучасні технології для оптимізації своїх процесів, що включає автоматизацію збору коштів, використання аналітики для оцінки ефективності проектів та інтеграцію з соціальними

⁸ У Британії створюють Центр інформаційної безпеки для боротьби з російською дезінформацією. *Ipress*. 2026. URL : https://ipress.ua/news/u_brytanii_stvoryat_tsentr_informatsiynoi_bezpeky_dlya_borotby_z_rosiyskoyu_dezinformatiieyu_390647.html

мережами для залучення нових прихильників. В Україні, незважаючи на обмежені ресурси, НГО активно впроваджують цифрові рішення, орієнтуючись на потреби суспільства, особливо в контексті кризових ситуацій, таких як війна. Це свідчить про здатність українських організацій швидко адаптуватися до змінюваних умов і використовувати доступні технології для досягнення своїх цілей.

Окремо, можна виділити гнучкість та адаптивність до реальних існуючих умов діяльності. Однією з ключових переваг українських НГО є їхня здатність швидко реагувати на виклики, що виникають у суспільстві. Наприклад, під час пандемії COVID-19 багато організацій перейшли на онлайн-формати роботи, що дозволило їм продовжувати свою діяльність і підтримувати громади. Також, у зв'язку з військовими діями на території нашої країни, НГО в Україні активно використовують цифрові платформи для координації допомоги, збору коштів та інформування населення про необхідні ресурси. Цей досвід свідчить про те, що українські організації можуть бути прикладом для інших країн у питаннях адаптації та інновацій.

Виклики та можливості. Обидві країни стикаються з викликами, які потребують уваги для подальшого розвитку цифровізації у секторі громадських організацій. У Великобританії це може бути пов'язано з питаннями фінансування та забезпечення рівного доступу до технологій для всіх НГО, особливо для менших організацій, які можуть не мати достатніх ресурсів для впровадження нових рішень. В Україні ж основними викликами залишаються фінансова нестабільність, обмежена технічна грамотність серед працівників НГО та ризики кібербезпеки. Проте ці виклики також відкривають нові можливості. Наприклад, зростаюча потреба в цифрових навичках може спонукати до створення нових навчальних програм та ініціатив для підвищення кваліфікації працівників та волонтерів НГО. Також співпраця між українськими та закордонними організаціями може стати важливим кроком у подоланні існуючих бар'єрів і сприянні обміну досвідом.

У майбутньому важливо продовжувати інвестувати в цифровізацію НГО обох країн. Для Великобританії та України це означає розвиток нових технологій та платформ, які б забезпечили ще більшу ефективність роботи НГО.



БЕРЕЗІНСЬКА Олена Володимирівна,

старший викладач

кафедри іноземних мов

професійного спілкування,

Міжнародний університет

ORCID iD: 0000-0001-8542-4600

Одеса, Україна

ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КЕЙС-МЕТОД У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОЇ ІНШОМОВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ (НА ПРИКЛАДІ АНАЛІЗУ РИНКУ *BLEISURE-ТУРИЗМУ*)

Сучасний етап розвитку лінгводидактики та прикладної лінгвістики характеризується радикальним переосмисленням концептуальних підходів до викладання англійської мови для спеціальних цілей (*ESP – English for Specific Purposes*). Тривалий час у науковому дискурсі панував дихотомічний підхід, який чітко розмежовував функціональні стилі: ділове мовлення (*Business English*) позиціонувалося як високостандартизоване, прагматичне та клішоване, тоді як мова сфери туризму та відпочинку (*Travel/General English*) належала до побутового, емотивно забарвленого пласту лексики.

Проте глобалізаційні процеси, стрімка цифровізація економіки та трансформація соціокультурних практик XXI століття призвели до дифузії цих лінгвістичних систем. В умовах сучасного освітнього простору, який активно розвивається під впливом технологій *EdTech* (*Educational Technology*), виникає гостра наукова потреба в дослідженні нових мовних конгломератів. Наукова проблема полягає в тому, що традиційні лексичні матриці *ESP*, інтегровані в цифрові освітні платформи, відстають від динаміки появи неонормативних лексем та концептів, породжених сучасною світовою економікою. Це зумовлює необхідність перегляду лінгвістичного контенту курсів *ESP* в *EdTech*-секторі та комплексного вивчення процесів лексичної гібридизації.

Питання цифровізації та модернізації лінгвістичного наповнення курсів англійської мови для спеціальних цілей (*ESP*) перебуває в центрі уваги багатьох сучасних вітчизняних та зарубіжних дослідників. Фундаментальні теоретичні засади функціонування *ESP*, зокрема дихотомію між академічним, діловим та загальним мовленням, закладено у працях таких класиків лінгводидактики, як Т. Гатчінсон, А. Вотерс, П. Стівенс та Д. Дадлі-Еванс. Традиційно вони розглядали *ESP* як відносно закриту систему, чітко детерміновану професійними потребами конкретної сфери.

Т. Гатчінсон, А. Вотерс структурували розуміння *ESP* та чітко розмежували сфери застосування мови, створивши відоме «Дерево *ESP*» (The *ESP tree*), де корінням є лінгвістичні теорії та мотивація, стовбуром – комунікація, а гілками – конкретні напрями¹. У цій системі чітко простежується дихотомія та взаємозв'язок між різними видами мовлення:

- Англійська для академічних цілей (наукові дослідження, навчання в університеті) – *English for Academic Purposes*.
- Ділове та професійне мовлення (бізнес, медицина, інженерія, авіація) – *English for Business/Occupational Purposes*.
- Загальне мовлення як база, оскільки процеси засвоєння мови в обох випадках підпорядковані єдиним психологічним законам навчання – *General English*.

Ключовий внесок Стівенса у дихотомію полягає в доведенні того, що «наукова» чи «ділова» мова має зовсім інші граматичні та лексичні пріоритети, ніж повсякденна². Якщо Гатчінсон і Вотерс структурували *ESP* як «підхід, орієнтований на навчання», то Пітер Стівенс увійшов в історію як науковець, який вперше дав чітке академічне визначення *ESP* та розробив його класифікаційну модель.

Тоні Дадлі Еванс разом із Маргі Сент Джон модернізував визначення англійської для спеціальних цілей (*ESP*), розширив класичну дихотомію виділивши академічні та професійні цілі, та зробив значний внесок у розвиток жанрового аналізу в навчанні³.

1 Tom Hutchinson and Alan Waters. *English for specific purposes*. Cambridge University Press, 1987, 192 p.

2 Стівенсон П. *ESP after twenty years: A re-appraisal // ESP: State of the Art* / за ред. М. Л. Тіку. Сінгапур : SEAMEO Regional Language Centre, 1988. С. 1–13.

3 Tony Dudley-Evans, Maggie Jo St John. *Developments in English for specific purposes*. Cambridge University Press, 1998, 301 p.

Проте стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та глобальна цифровізація професійного простору змушують сучасних дослідників переглянути класичне розуміння статистики ESP-курсів. Якщо в концепціях Т. Гатчінсона та А. Вотерса зміст навчання визначався як відносно фіксований набір професійних мовних маркерів, то в умовах сучасної цифрової лінгводидактики лінгвістичне наповнення розглядається як гнучка екосистема⁴. Впровадження генеративного штучного інтелекту, корпусних інструментів та віртуальних симуляцій у практику викладання не просто модернізує форму подачі матеріалу, а докорінно трансформує саму дихотомію між академічним та професійним мовленням, роблячи межі між ними більш проникними та адаптивними до вимог реального ринку праці⁵.

На сучасному етапі розвитку прикладної лінгвістики акценти зміщуються в бік міждисциплінарності. Дослідження процесів дифузії професійних дискурсів та лексичної гібридизації активізувалися завдяки працям фахівців, які вивчають динаміку мови в епоху глобалізації (зокрема, концепції *Global English* та *English as a Lingua Franca – ELF*): Анни Мауранен, Барбари Зайдлгофер, Дженні Дженкінс⁶. У цьому контексті важливими є розвідки дослідників, які вказують на розмивання меж між *Business English* та *Travel English* через появу нових соціокультурних та економічних феноменів (наприклад, концепту *bleisure* – поєднання бізнесу та відпочинку).

1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми

Сучасний етап розвитку індустрії гостинності та туризму характеризується масштабною цифровою трансформацією та виникненням гібридних субсегментів ринку, серед яких особливе місце посідає *Bleisure*-туризм, що інтегрує ділові подорожі з елементами рекреації та дозвілля. Динамічне зростання цього сектору зумовлює докорінну зміну вимог до кваліфікаційного профілю майбутніх фахівців, актуалізуючи потребу у формуванні їх-

4 Belcher D. Tutoring one's way to L2 writing teacher cognition. *Writing & Pedagogy*, 14(1), 2022. С. 35–58. DOI: <https://doi.org/10.1558/wap.22028>

5 Нарачевська О. О. AI-enhanced ESP instruction for technical students: Advancing professional communication and strategic decision-making. *Cross-Disciplinary Studies in Science, Innovation and Social Development* : monograph. Prague : Publishing house Education and Science s.r.o., 2026. Vol. 8. P. 24–35. ISBN 978-80-909811-2-6 (soubor)

6 Language change: The impact of English as a lingua franca / ed. by Anna Mauranen, Svetlana Vetchinikova. Cambridge : Cambridge University Press, 2021. 363 p. ISBN 9781108729819; Barbara Seidlhofer. *Understanding English as a Lingua Franca*. Oxford University Press, 2012. С. 163–165; DOI: <https://doi.org/10.1093/applin/ams035>; Jenkins J., Morán Panero S. *Global Englishes: A Resource Book for Students*. London : Taylor & Francis, 2024. 304 p.

ньої професійно орієнтованої іншомовної компетентності на засадах між-дисциплінарності та технологізації⁷. Ефективне вирішення зазначеного завдання у вищій школі гальмується традиційними лінейними підходами до навчання іноземної мови, які не здатні повною мірою відтворити синкретичний та високотехнологічний характер сучасного професійного середовища. Синергетичне поєднання імерсивних технологій, зокрема віртуальної та доповненої реальності, з аналітичним потенціалом кейс-методу виступає дієвою лінгводидактичною відповіддю на виклики сучасної індустрії, створюючи передумови для моделювання автентичного професійного дискурсу⁸.

Об'єктивні передумови впровадження цього інтегрованого підходу лежать у площині ринкових, технологічних та психолого-педагогічних чинників. Ринковий чинник зумовлений специфікою Bleisure-сегмента, де фахівець змушений одночасно оперувати інструментами B2B та B2C комунікації, гнучко переключаючись між суворим діловим етикетом MICE-індустрії та емоційно-забарвленим вокабуляром індустрії відпочинку. Технологічні передумови пов'язані із загальною диджиталізацією освіти та доступністю інструментарію тривимірної візуалізації, що дає змогу подолати просторові обмеження навчальної аудиторії. Педагогічні виклики полягають у необхідності подолання психологічного та мовного бар'єрів у студентів під час прийняття управлінських рішень іноземною мовою в умовах дефіциту часу або штучно створеного професійного стресу.

У межах розробленої концепції кейс-метод виконує функцію структурно-аналітичного каркаса навчання, занурюючи здобувачів освіти у реальну бізнес-проблематику Bleisure-індустрії, тоді як імерсивні технології забезпечують сенсорно-перцептивну та когнітивну візуалізацію цього процесу. На прикладі аналізу ринку Bleisure-туризму студентам пропонується комплексне кейс-завдання, спрямоване на реконцептуалізацію послуг традиційного готелю під потреби ділових туристів нового покоління, що вимагає проведення маркетингового аудиту, розробки пакетів послуг

7 Goshkheteliani I., Kalandia A. *Lingua-cultural peculiarities of tourism discourse and the perspective of its teaching*. *International Journal of Multilingual Linguistics*, 12, 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/369364327_Lingua-cultural_Peculiarities_of_Tourism_Discourse_and_the_Perspective_of_its_Teaching

8 Проектування освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності в закладах загальної середньої освіти : колективна монографія / Литвинова С. Г., Сороко Н. В., Бащенко С. В., Богочков Ю. М., Гриб'юк О. О., Дементієвська Н. П., Коркішко І. А., Слободяник О. В., Соколюк О. М., Ухань П. С. / за наук. ред. Литвинової С. Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2023. 219 с.

типу «Workation» та обґрунтування їхньої рентабельності іноземною мовою. Інтеграція VR-інструментів на етапі аналізу кейсу дозволяє студентам здійснювати віртуальний аудит просторових рішень провідних світових дестинацій, оцінювати ергономіку коворкінгів та конференц-зон безпосередньо у тривимірному середовищі, що стимулює спонтанне іншомовне продукування та активізує професійну термінологію. Використання AR-симуляторів для проектування Bleisure-маршрутів та залучення VR-рольових ігор з інтерактивними аватарами для вирішення реклаमाційних ситуацій забезпечують багаторазове репетиційне проходження професійних сценаріїв⁹.

У результаті такої взаємодії формування професійно орієнтованої іншомовної компетентності переходить на якісно новий рівень, де мова розглядається не як абстрактний об'єкт вивчення, а як функціональний інструмент розв'язання практичних завдань у високотехнологічному полі майбутньої професійної реальності. Студенти не лише опановують вузькоспеціалізований глосарій, а й розвивають критичне мислення, адаптивність та здатність до ефективної міжкультурної бізнес-комунікації в умовах швидкозмінної архітектури світового туристичного ринку.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та методичне проектування оновленої моделі лінгвістичного наповнення курсів англійської мови для спеціальних цілей (ESP) на основі інтеграції технологій штучного інтелекту та корпусних інструментів, що забезпечує трансформацію традиційного змісту навчання у гнучку цифрову екосистему.

Окремим вектором наукового пошуку є інтеграція *EdTech*-технологій у простір лінгводидактики. Вплив цифровізації на формування лексичної компетентності студентів досліджують фахівці у сфері комп'ютерно-орієнтованого навчання мов (*CALL – Computer-Assisted Language Learning*) та мобільного навчання (*MALL*). У публікаціях останніх років активно аналізуються можливості адаптивних платформ, використання штучного інтелекту та корпусних інструментів для створення актуального контенту¹⁰.

9 Buhalis D. eTourism: Information Technology for Strategic Tourism Management. London: Financial Times/Prentice Hall, 2003. 408 p.

10 Мусіхіна І. Call та mall технології як інструмент взаємодії з учнями в умовах воєнного часу. / І. Мусіхіна, Т. В. Глазунова // Актуальні проблеми філології та методики викладання іноземних мов у сучасному мультимедіальному просторі : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 18 жовтня 2023 р., ВДПУ імені Михайла Коцюбинського. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ». 2023. С. 248-250. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/c32686d0-53ee-41df-8585-2cc65732e62a>

Інтеграція сучасних *EdTech*-технологій у простір викладання англійської мови для професійних цілей докорінно змінює традиційну парадигму навчання, перетворюючи її з пасивного механічного запам'ятання термінологічних списків на динамічний процес формування професійної комунікативної компетентності. У межах комп'ютерно-орієнтованого навчання мов (*CALL*) та мобільного навчання (*MALL*) особливого значення набуває використання штучного інтелекту, що діє як інтерактивний ШІ-агент, здатний симулювати реальні робочі ситуації, моделювати поведінку «складного клієнта», «іноземного партнера» чи «пацієнта», а також надавати миттєвий контекстуальний фідбек і пропонувати точніше професійні синоніми замість загальноживаної лексики. Паралельно з цим у практику ESP активно впроваджуються корпусні інструменти, такі як AntConc або Sketch Engine, за допомогою яких студенти самостійно аналізують автентичні тексти зі своєї спеціальності, досліджують частотність вживання слів та специфіку колокацій безпосередньо у науковому чи бізнес-дискурсі, що запобігає мовному калькуванню. Мобільне мікронавчання (*MALL*) забезпечує безперервність цього процесу поза аудиторією через гейміфіковані платформи на зразок Quizlet чи Anki для інтервального повторення професійних глосаріїв, а також через інтерактивні відеосервіси на кшталт Edpuzzle, які інтегрують лексичні завдання у перегляд реальних презентацій чи профільних відеоматеріалів¹¹. Найбільш технологічним проявом цифровізації ESP стає використання віртуальної реальності (VR) та імерсивних симуляцій в авіаційній, медичній чи готельній сферах, де студент опиняється у штучно створеному професійному середовищі, а вибір правильних лексичних конструкцій безпосередньо впливає на успіх виконання практичного завдання. Усі ці інструменти, реалізовані зокрема і у вітчизняних закладах вищої освіти, як-от Міжнародний університет в Одесі через комп'ютеризоване адаптоване тестування та цифрові лінгафонні комплекси, дозволяють створити цілісну екосистему змішаного навчання, яка забезпечує відповідність мовної підготовки майбутніх фахівців сучасним міжнародним стандартам. Факультет іноземних мов, медіа та психології в університеті став першим в Україні офіційним сертифікованим центром тестування Oxford

11 Ковальчук О. В. Гейміфікація та мікронавчання як сучасні тренди іншомовної підготовки студентів немовних спеціальностей. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія»*. Серія: Філологічна. 2021. Вип. 12(80). С. 45–49.

Test of English. Це повністю комп'ютерний формат оцінювання (*CALL*), де адаптивні алгоритми тестування в реальному часі підбирають складність завдань залежно від відповідей студента. Такий підхід інтегровано безпосередньо в навчальний процес для валідації лексичного та граматичного рівня студентів відповідно до шкали CEFR (від A2 до C1). Навчання майбутніх філологів спирається на спеціалізовані цифрові лінгафонні лабораторії. Вони дозволяють автоматизувати процес відпрацювання професійної лексики, фонетики та навичок синхронного/последовного перекладу. Викладачі використовують інтерактивне програмне забезпечення для контролю за розширенням словникового запасу та контекстуальним вживанням термінів.

У межах цифровізованого навчання ESP студенти використовують великий комплекс самостійних та дослідницьких завдань, спрямованих на розвиток автономії та критичного мислення. Окрім роботи з готовим контентом, майбутні фахівці активно займаються корпусним аналізом, самостійно завантажуючи автентичні текстові масиви (статті, контракти, технічну документацію) у програми AntConc для виявлення закономірностей функціонування термінів та укладання власних індустріальних глосаріїв. Студенти ведуть письмові блоги, розробляють командні проекти на цифрових дошках Miro чи Padlet оцінювання та створюють мультимедійні презентації, де захищають власні кейси англійською мовою, використовуючи III-інструменти для попереднього редагування, стилістичного коригування та перевірки граматичної точності своїх текстів. У контексті реалізації концепції мобільного навчання особливої актуальності набуває впровадження технологій взаємного оцінювання (*peer-assessment*). Зазначений підхід реалізується шляхом фіксації студентами власних відеовиступів або аудіоподкастів на спеціалізованих платформах (зокрема типу Flip) із подальшим автентичним аналізом мовлення колег, деструкцією та корекцією лексичних девіацій. Додатково інтенсифікація іншомовної підготовки забезпечується детермінацією індивідуальних освітніх траєкторій: здобувачі вищої освіти проходять квести у віртуальних симуляторах для вирішення релевантних професійних завдань, беруть участь у комп'ютеризованих дебатах та проходять адаптивне тестування, алгоритм якого миттєво реагує на рівень мовної компетентності користувача задля ліквідації дефіциту професійного тезауруса.

2. Обґрунтування інтеграції імерсивних технологій та кейс-методу у процесі формування професійно орієнтованої іншомовної компетентності фахівців сфери Bleisure-туризму

Сучасний етап розвитку вищої професійної освіти вимагає системного переосмислення методологічних підходів до формування професійно орієнтованої іншомовної компетентності майбутніх фахівців, зокрема у високотехнологічних та динамічних секторах економіки, як ринок Bleisure-туризму. Специфіка цієї галузі, що поєднує ділові подорожі з елементами рекреації, передбачає наявність у випускників не лише базових мовних навичок, а й здатності здійснювати комплексну міжкультурну комунікацію, приймати стратегічні рішення та оперувати складним аналітичним інструментарієм в умовах дефіциту часу. Критичний аналіз існуючої педагогічної практики засвідчує наявність суттєвого дидактико-технологічного розриву між теоретичною підготовкою та реальними вимогами індустрії. Традиційний кейс-метод, попри високий аналітичний потенціал, через свою текстоцентричність та статичність викладу бізнес-ситуацій обмежує студентів роллю сторонніх спостерігачів. Водночас ізольоване використання імерсивних технологій віртуальної та доповненої реальності має лише ілюстративний характер, тому не забезпечуючи належної глибини проблемного аналізу та мовної інтеракції. Класичне навчання іноземної мови для професійного спрямування фокусується на репродуктивному засвоєнні терміносистеми, залишаючи поза увагою динамічний контекст професійної діяльності.

Для подолання окреслених суперечностей виникає об'єктивна необхідність формулювати науково-технічне завдання з розробки оптимального методичного інструментарію, що базується на конвергенції імерсивних технологій та кейс-методу в єдину дидактичну екосистему. Оптимальний розвиток техніко-технологічного забезпечення цього процесу передбачає створення інтегрованого іншомовного імерсивного кейс-середовища, в якому аналітичні дані ринку Bleisure-туризму безпосередньо інтегровано у віртуальний простір. Наукова задача полягає в трансформації структури навчального кейсу від лінійного опису до тривимірної динамічної моделі, де майбутній фахівець виступає активним суб'єктом комунікації. Технічна реалізація цього завдання вимагає впровадження інтерактивних сценаріїв взаємодії з мовними симуляторами на базі штучного інтелекту, спромож-

ними розпізнавати іншомовне мовлення, оцінювати фонетичну, лексичну та граматичну точність, а також верифікувати доцільність прийнятих бізнес-рішень.

Оптимальна модель функціонування цієї системи охоплює наскрізний процес: від аналізу макроекономічних показників Bleisure-індустрії за допомогою засобів доповненої реальності (AR) до занурення у VR-симуляцію ділових переговорів з іноземними партнерами та подальшого колективного захисту проєктів у віртуальному середовищі для колаборації. Такий підхід забезпечує перехід від абстрактного вивчення професійного дискурсу до формування стійких поведінкових моделей, релевантних реальним умовам міжнародного ринку туристичних послуг.

Водночас, попри високу технологізацію освітнього процесу та наявність фундаментальних праць із теорії ESP, питання динаміки оновлення лексичних матриць в EdTech-секторі залишається концептуально молододслідженням. Поза увагою наукової спільноти досі перебуває механізм фіксації та інтеграції неонормативних лексем – детермінованих розвитком gig-економіки, стартап-культури та криптоіндустрії – у контентну архітектуру цифрових платформ. Як наслідок, більшість сучасних курсів ESP продовжують функціонувати на базі статичних, клішованих лінгвістичних моделей кінця XX – початку XXI століття, що зумовлює деструктивний розрив між дидактичним контентом та актуальним дискурсом реальної комунікативної практики.

Поза увагою дослідників часто залишається той факт, що поява гібридних соціоекономічних явищ веде до кардинальних змін у *лексико-семантичній системі* мови. Замість механічного поєднання термінів, відбувається утворення нових семантичних полів, зміщення конотацій та активне функціонування неотермінологічних і неокорпоративних лексем, які потребують наукового опису, класифікації та методичної кодифікації для цифрових освітніх платформ.

Актуальність дослідження лексичного аспекту *ESP* в *EdTech* зумовлена докорінною зміною структури та організації сучасних знань. Новітні цифрові платформи (від мобільних додатків на базі ШІ до масштабних LMS-систем) відходять від лінійного подання словникового матеріалу. Сьогодні *EdTech* оперує концептами *мікронавчання (microlearning)* та *контекстуалізованого засвоєння лексики (contextualized vocabulary acquisition)*. Фахівець

нового покоління потребує не ізольованого вивчення професійних термінів, а оволодіння так званою «динамічною лексичною компетентністю» (Dynamic Lexical Competence) – здатністю оперувати вокабуляром, який одночасно обслуговує як офіційні бізнес-процеси, так і неформальну міжкультурну комунікацію.

Яскравим віддзеркаленням цих макроекономічних змін став концепт *bleisure* (*business* + *leisure*). У соціологічних та економічних студіях його дедалі частіше маркують як провідну модель поведінки сучасної інтелектуальної робочої сили – зокрема, «цифрових кочівників» (Digital Nomads). Перехід глобального ринку праці на гібридні моделі зайнятості й розмивання меж між робочим часом і дозвіллям детермінували появу потужного пласту нової лексики. З лінгвістичного погляду модель *bleisure* є унікальним об'єктом для дослідження з кількох причин.

По-перше, це *лексичний блендинг* (blending). Назва феномену є результатом телескопії (словоскладання з усіченням). Вона відображає продуктивну тенденцію сучасної англійської мови до економії мовних засобів в умовах прискореної комунікації. Це яскраво ілюструють новотвори на зразок *workation*, *bizcation*, *glamping* та *staycation*.

По-друге, відбувається *семантична деривація та розширення дискурсу*. Традиційні бізнес-терміни в контексті концепції *Bleisure* набувають додаткових семантичних відтінків, інтегруючи елементи індустрії гостинності та туризму. Водночас лексеми сфери відпочинку стають легітимними елементами ділового спілкування. Це змінює звичну дистрибуцію таких слів, як *office*, *hub*, *networking* та *hospitality*.

По-третє, трансформація супроводжується формуванням *гібридного лінгвокультурного скрипту*. У межах *Bleisure-поїздки* комунікант змушений миттєво переключати реєстри мовлення. Він балансує між суворо регламентованою лексикою презентацій та контрактів і неформальним лексиконом «small talk», а також гастрономічним та екскурсійним дискурсами.

Таким чином, обґрунтування вибору теми розділу колективної монографії полягає в аналізі точки перетину трьох векторів: новітнього економічного феномену (*Bleisure*), цифрового середовища його вивчення (*Ed-Tech*) та лінгвістичного субстрату (лексична система ESP). Дослідження того, як гібридний вокабуляр *Bleisure* інтегрується в новітні освітні платформи, дає змогу виявити закономірності розвитку сучасної англійської

мови, а також оптимізувати стратегії формування іншомовної професійної компетентності майбутніх фахівців у цифровому просторі.

Сучасний етап розвитку лінгводидактики характеризується глобальним зміщенням парадигми від пасивного засвоєння мовних знань до активного, контекстуалізованого формування комунікативної компетентності в умовах високотехнологічного освітнього середовища. У цьому контексті імерсивна лінгводидактика постає як інноваційний напрям, що інтегрує передові досягнення когнітивістики, педагогічної психології та цифрових технологій для створення оптимальних умов для природного й інтенсивного опанування англійської мови як засобу міжнародного та професійного спілкування.

Фундаментом цієї парадигми є концепт імерсивних навчальних середовищ (Immersive Learning Environments, ILE), які трансформують традиційний аудиторний простір у динамічне, багатовимірне екосередовище. Під ILE у лінгводидактичному вимірі слід розуміти комплексну, технологічно та методично організовану екосистему, яка забезпечує психологічне, когнітивне та просторове занурення здобувача освіти у штучно створене, проте автентичне за своїми характеристиками іншомовне середовище. Феномен імерсії в межах ILE не обмежується лише пасивним сприйняттям тривимірного контенту – він охоплює ширший спектр інтеракції, де критично важливим є виникнення ефекту «присутності» (presence) та «співприсутності» (co-presence). Останнє означає, що студент сприймає штучний контекст як інтуїтивно та соціально переконливий, що нівелює бар'єри між навчальною ситуацією та реальним мовленнєвим досвідом. У межах ILE англійська мова перестає функціонувати як абстрактна об'єктна система, що підлягає вивченню через заучування правил, а стає безпосереднім інструментом діяльності, адаптації та розв'язання професійно орієнтованих комунікативних завдань.

Глибоке теоретичне коріння імерсивної лінгводидактики сягає теорії ситуативного пізнання (Situating Cognition), сформульованої у працях Дж. Брауна, А. Коллінза та П. Дугіда. Відповідно до цієї концепції, знання не є абстрактною, самодостатньою сутністю, яку «можна перенести» з голови викладача чи сторінок підручника в когнітивну систему учня. Навпаки, пізнання є принципово ситуативним – тобто невіддільним від контексту, культури та діяльності, у межах яких воно формується та застосовується.

Для лінгводидактичної підготовки студентів 2–4 курсів закладів вищої освіти це твердження має фундаментальне значення. На цьому етапі навчання здобувачі вже володіють базовою мовною компетентністю (рівні B1 – B2), тому традиційне, ізольоване вивчення лексичних одиниць або граматичних структур поза їхнім функціональним та соціокультурним контекстом є малоефективним. Натомість теорія ситуативного пізнання доводить, що концептуальне розуміння англійської мови розвивається через постійну взаємодію суб'єкта із середовищем, подібно до того, як ремісник опановує свою справу в системі автентичного когнітивного учнівства (*cognitive apprenticeship*).

Імерсивні лінгводидактичні середовища ідеально реалізують цей принцип, створюючи для студентів старших курсів «світ у мініатюрі», де кожна мовна дія зумовлена специфікою поточної ситуації та майбутньої професійної діяльності (*ESP – English for Specific Purposes*). У таких умовах актуалізується інструментальна функція мови, а когнітивні ресурси студентів спрямовуються на розкодування складних смислів, зчитування невербальних маркерів та швидке реагування, що стимулює розвиток мовленнєвої гнучкості, інтуїції та критичного мислення. Контекст середовища надає мовленнєвим знакам інтенційного наповнення, перетворюючи декларативні знання («я знаю, як це сказати») у процедурні («як я можу успішно вести переговори чи розв'язувати конфлікти англійською мовою»).

Проте розгортання повномасштабних імерсивних середовищ у практиці вищої школи часто стикається з жорсткими матеріально-технічними та фінансовими обмеженнями. Розв'язанням цієї суперечності в межах офлайн-навчання стає концепція BYOD (*Bring Your Own Device – «принеси свій власний пристрій»*). У контексті імерсивної лінгводидактики BYOD трансформується з організаційного підходу в потужний дидактичний інструмент. Ця концепція передбачає, що студенти використовують свої персональні мобільні пристрої (смартфони, планшети, портативні VR-гарнітури типу Google Cardboard або Homido) безпосередньо на заняттях для доступу до високотехнологічного імерсивного контенту. З погляду психолого-педагогічного аспекту, використання власного гаджета знижує рівень когнітивного навантаження та технологічної тривожності (*techno-anxiety*), що особливо важливо для подолання мовного бар'єру у студентів. Здобувач освіти працює в інтерфейсі, який є для нього звичним,

персоналізованим та інтуїтивно зрозумілим, що дозволяє повністю фокусуватися на змісті англomовного завдання, а не на механіці керування новим пристроєм.

Отже, модель BYOD є матеріальним медіатором, який поєднує фізичний простір аудиторії з віртуальним або доповненим імерсивним середовищем, забезпечуючи умови для наскрізного навчання (*seamless learning*). Технологічний стек цієї моделі BYOD у процесі викладання англійської мови студентів II-IV курсів охоплює широкий спектр цифрових імерсивних інструментів.

По-перше, це технології мобільної віртуальної реальності (*Mobile VR*), які дозволяють за допомогою смартфонів та індивідуальних VR-боксів здійснювати віртуальні екскурсії й інтерактивні подорожі завдяки 360-градусним відео (наприклад, на платформах YouTube 360 або Google Arts & Culture). Це забезпечує соціокультурне занурення в середовище країн, де англійська мова є офіційною.

По-друге, активно впроваджуються мобільні застосунки з підтримкою доповненої реальності (*AR*), які накладають цифровий текст, аудіо- та тривимірні об'єкти на фізичний простір аудиторії, стимулюючи студентів до описової, аналітичної та дискусійної діяльності.

Окреме місце посідають спеціалізовані мовні платформи штучного інтелекту з імерсивними голосовими інтерфейсами (наприклад, застосунки на базі генеративного ШІ, такі як Character.ai, розмовні режими ChatGPT або платформи типу TalkPal, Elsa Speak). Вони дозволяють студентам II-IV курсів моделювати індивідуальні діалогові сценарії: від проходження співбесіди на роботу в міжнародну компанію до захисту наукового проекту англійською мовою. У таких сценаріях ШІ виступає в ролі автентичного, непередбачуваного та емпатичного співрозмовника – носія мови. Це забезпечує миттєвий зворотній зв'язок (*formative feedback*) щодо фонетичної, лексичної та граматичної точності мовлення студента, повністю нівелюючи психологічний тиск і страх помилитися перед аудиторією.

Економічна доцільність інтеграції концепції BYOD в офлайн-навчання є одним із найбільш переконливих аргументів на користь її широкого впровадження в сучасних закладах вищої освіти. Традиційна модель цифровізації, яка спирається на закупівлю, обслуговування та регулярне оновлення стаціонарних комп'ютерних класів або спеціалізованих лінга-

фонних кабінетів, демонструє низьку рентабельність і швидке моральне застарівання техніки. Впровадження BYOD дозволяє закладам освіти радикально оптимізувати капітальні витрати (CapEx), переносячи витрати на придбання апаратного забезпечення (hardware) на кінцевого користувача. Адже студенти в сучасних реаліях усе одно володіють смартфонами високої обчислювальної потужності, здатними обробляти AR/VR-контент та алгоритми штучного інтелекту.

Синтез імерсивних навчальних середовищ, теорії ситуативного пізнання та концепції BYOD (Bring Your Own Device) дозволяє сформувати цілісну, економічно стійку й дидактично ефективну модель сучасної лінгводидактики. У цій моделі фізична офлайн-аудиторія не втрачає свого значення, а навпаки – збагачується новими змістовними вимірами. Викладач англійської мови переходить від ролі єдиного джерела знань (*«sage on the stage»*) до ролі фасилітатора, дизайнера імерсивного досвіду та модератора живого міжсуб'єктивного спілкування (*«guide on the side»*).

У таких умовах суттєво трансформується роль самого здобувача освіти, що забезпечує якісно вищий рівень його автономії. Студент старших курсів перестає бути об'єктом педагогічного впливу й перетворюється на активного суб'єкта. Маючи доступ до ІІІ як до персонального мовного тренажера та генератора кейсів, майбутній фахівець може самостійно регулювати темп навчання, обирати рівень складності завдань та миттєво отримувати персоналізований зворотний зв'язок. Віртуальна реальність, моделюючи умови міжнародних конференцій, переговорів чи виробничих нарад, дозволяє студентам експериментувати з мовною поведінкою у безпечному, але максимально реалістичному просторі. Це нівелює психологічний страх зробити помилку, долає мовний бар'єр і формує стійку внутрішню мотивацію до вдосконалення навичок.

Професійно орієнтований характер симуляцій забезпечує глибоку міжпредметну інтеграцію за принципом CLIL (Content and Language Integrated Learning). Англійська мова перестає сприйматися як абстрактна дисципліна: вона стає гнучким робочим інструментом для аналізу галузевої інформації, захисту бізнес-планів, вирішення конфліктних ситуацій з іноземними партнерами або координації дій у міжнародних командах. Подібна діяльність веде до формування не просто декларативних знань, а глибоких, гнучких та операціональних англомовних умінь. Вони інтегруються із за-

гальними навичками критичного мислення, адаптивності та міжкультурної емпатії (*soft skills*), які є критично важливими на сучасному ринку праці.

Найважливішим результатом такого підходу є мінімізація когнітивного розриву між навчальним процесом та професійною діяльністю. Оскільки когнітивні й емоційні процеси під час роботи з VR, AR та III максимально наближені до умов реальної практики, здобувачі освіти виявляються повністю готовими до безпосереднього перенесення набутого досвіду в реальні умови міжкультурної та професійної взаємодії в глобалізованому світі. Студент виходить з університету не з теоретичним багажем знань про мову, а з готовими патернами успішної комунікативної поведінки, що дозволяє йому миттєво й ефективно інтегруватися в іншомовне професійне середовище.

3. Лексико-семантичний аналіз англомовного корпусу номінацій *Bleisure* та методологічні засади формування галузевого лексичного мінімуму методом суцільної вибірки

Динамічні трансформації в сучасній соціолінгвістичній парадигмі зумовлені глобальними змінами у сфері професійної комунікації та культури праці, що безпосередньо впливає на процеси неонімації в англійській мові. Яскравим прикладом такої поняттєвої та мовної гібридизації є виникнення й активне функціонування лексеми *bleisure*, яка утворилася внаслідок телескопічного злиття ядерних основ *business* (бізнес, професійна діяльність) та *leisure* (дозвілля, відпочинок). Лексико-семантичний аналіз означеного корпусу слів у межах нашого дослідження спрямований на виявлення внутрішньої архітекτονіки цього семантичного поля, визначення дифузії значень та встановлення системних зв'язків між похідними одиницями. В основі семантичної структури лексеми *bleisure* лежить інтеграція двох протилежних за змістом концептуальних ознак: обов'язку, регламентованості, прагматизму з одного боку, й свободи, релаксації, індивідуального вибору – з іншого.

У сучасному англомовному дискурсі індустрії туризму та гостинності (*hospitality industry*) навколо цього новотвору формується потужне семантичне поле, де ядром виступає власне композит *bleisure*, а ближню периферію складають стійкі терміносполучення на зразок *bleisure traveler*, *bleisure tourism*, *bleisure destination* та *bleisure trip*. Подальший розвиток цього лексичного корпусу демонструє тенденцію до семантичної деривації та появи

синонімічних новотворів, таких як *blended travel*, *workation* (*work* + *vacation*), *bizcation* (*business*+*vacation*) та *corporate nomadism*, що свідчить про глибоку диференціацію аналізованого лінгвокультурного феномену. Дальня периферія досліджуваного корпусу охоплює ширший контекст корпоративного менеджменту та психології праці, залучаючи поняття *work-life balance*, *remote employment* та *flexible corporate policy*, які забезпечують когнітивне підґрунтя для функціонування цієї терміносистеми.

Процес лінгвістичного опису та структурування зазначеного корпусу лексики нерозривно пов'язаний із розв'язанням важливої методологічної проблеми – відбором галузевого лексичного мінімуму, спроможного адекватно відобразити сучасний стан професійного дискурсу. У межах цього дослідження оптимізація процедури укладання лексичного мінімуму здійснюється за допомогою методу суцільної вибірки з англomовних фахових текстових масивів. Використання суцільного текстового матеріалу, вилученого з авторитетних періодичних видань, аналітичних звітів Всесвітньої туристичної організації (UNWTO *Tourism Market Intelligence Reports Center*), спеціалізованих платформ туристичної аналітики *Skift* та *Phocuswire*, а також аналітичних оглядів *McKinsey & Company Travel and Hospitality Insights*, дозволяє мінімізувати суб'єктивізм дослідника й зафіксувати реальні узусні практики. Екстракція даних із таких авторитетних джерел, як журнал *Journal of Travel Research*, публікації *Harvard Business Review* у секції корпоративного управління та звіти *Global Business Travel Association (GBTA)*, забезпечує високу репрезентативність досліджуваного матеріалу.

Водночас методологічний виклик полягає у визначенні чітких лінгвостатистичних та семантичних критеріїв фільтрації отриманого масиву даних, оскільки суцільний текст містить значну кількість okazіоналізмів, індивідуально-авторських метафор та ситуативних номінацій, які не мають ознак термінологічної стійкості. Для вирішення цієї проблеми у процесі відбору лексичного мінімуму було застосовано багаторівневу верифікацію, яка передбачає первинний статистичний підрахунок абсолютної частотності (Frequency) кожної лексики у сформованому корпусі, аналіз коефіцієнта її дистрибуції або діапазону вживання (Range) у різних типах дискурсу, а також експертну семантичну оцінку. Особлива увага приділяється критерію сполучуваності (валентності) нових лексем: одиниці, що демонструють високу здатність до утворення сталих атрибутивних та ді-

еслівних колокацій (наприклад, *to adopt a bleisure policy, bleisure budget constraints*), автоматично включаються до реєстру мінімуму як прагматично та комунікативно значущі.

Об'єктивно верифікований та структурно впорядкований лексичний мінімум, отриманий у результаті суцільної вибірки англomовного корпусу *bleisure*, має суттєвий лінгводидактичний потенціал і є надійною основою для оптимізації процесу навчання мови професійного спілкування (ESP).у закладах вищої освіти. Інтеграція цього мінімуму у практику викладання дозволяє подолати традиційний розрив між статичним навчальним матеріалом та динамічним реальним узусом, забезпечуючи формування автентичної комунікативної компетенції майбутніх фахівців індустрії туризму, гостинності та міжнародного менеджменту. З погляду методики викладання іноземних мов, розроблений мінімум слугує інструментом для раціонального дозування навчального матеріалу, де пріоритет надається ядерним одиницям із високою функціональною валентністю. У практичному аспекті лінгводидактична цінність даного корпусу реалізується через розробку серії компетентнісно орієнтованих завдань, спрямованих на розвиток рецептивних та продуктивних видів мовленнєвої діяльності. Зокрема, у процесі навчання читання фахових текстів залучення відібраного лексичного мінімуму допомагає студентам швидко ідентифікувати концептуальні зв'язки у статтях профільних медіа, аналітичних звітах чи корпоративних документах, мінімізуючи час на пошук неонормативних значень у традиційних словниках, які часто не встигають за темпами неологізації. Більше того, робота з колокаціями навколо ядра *bleisure*, як-от *to cater to bleisure guests* або *to leverage bleisure trends*, стимулює розвиток навичок говоріння та письма, оскільки студенти засвоюють лексеми не ізольовано, а у складі готових синтагматичних блоків, що суттєво підвищує ідіоматичність та природність їхнього професійного мовлення.

Окремої уваги в дидактичному контексті набуває розвиток соціолінгвістичної та прагматичної субкомпетенцій. Аналіз дифузії значень між поняттями *workation, blended travel* та *bizcation* спонукає здобувачів освіти до глибшого розуміння сучасних міжкультурних та бізнесових реалій англomовного простору. Розроблений на засадах корпусної лінгвістики лексичний мінімум виступає не лише термінографічним інвентарем, а й гнучкою методичною матрицею для моделювання сучасного змісту навчання,

створення автентичних посібників нового покоління та розробки критеріїв оцінювання іншомовної професійної підготовки, що відкриває перспективи для подальшого вивчення квантитативних характеристик неонормативного бізнес-дискурсу.

Інтеграція імерсивних технологій та кейс-методу на базі аналізу Bleisure-туризму є високоефективною інноваційною моделлю формування професійно орієнтованої іншомовної компетентності майбутніх фахівців. Використання VR/AR/MR-інструментів у структурі автентичних кейсів забезпечує ефект повної присутності в іншомовному середовищі та інтенсифікує розвиток лінгвістичного, соціокультурного й діяльнісного компонентів підготовки. Завдяки реалістичності симуляцій студенти успішно долають мовну тривожність, зміщуючи фокус з академічного оцінювання на розв'язання реальних бізнес-завдань і прийняття управлінських рішень. У підсумку такий синергетичний підхід дозволяє підготувати конкурентоспроможного спеціаліста, здатного ефективно діяти у глобальному полілінгвальному просторі туристичної індустрії.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-145-162

КОРБОЗЕРОВА Ніна Миколаївна,

д-р філол. наук,
професор Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка
ORCID iD: 0000-0001-6045-669X
Україна

МОВНА СИТУАЦІЯ ПІРЕНЕЇВ ДОРИМСЬКОГО ПЕРІОДУ

Дороманська мовна карта Піренейського регіону була неоднорідною. Сучасна наука має дуже мало інформації про неї. Загалом Піренейський регіон являв собою мозаїку мовних зон, частина яких походила від локальних мовних різновидів. Оскільки точні межі багатьох мов залишаються дискусійними, сучасні дослідники (Joaquín Gorrochategui Churruga, Joseba Andoni Lakarra, Javier Velaza Frías, Eduardo Orduña Aznar, Xaverio Ballester

та ін.) умовно виділяють декілька основних мовних складників дороманського мовного ареалу Піренейського регіону, де чітко прослідковуються: західнопіренейський аквітанський, баскський, іберійський та кельтський.

Мовний компонент, пов'язаний з *аквітанською мовою*, був поширений у західній частині Піренеїв і прилеглих регіонах південної Галлії. Можливий генетичний зв'язок аквітанської мови дослідники пов'язують з протоформою баскської мови.

Баскський компонент. Баскська мовна традиція має особливе значення, оскільки ця мова збереглася до наших днів. Вона поширена по обидві сторони західної частини франко-іспанського кордону.

Іберійський компонент. Іберійська мова була дороманською у східній частині Піренейського півострова. У мовах східної частини Піренейського регіону простежуються іберійські ономастичні елементи. Іберійську та баскську мови дослідники не ототожнюють.

Кельтський компонент. Кельтські мови вплинули на мовну ситуацію значної частини Західної Європи. У Піренейському регіоні кельтський вплив також простежується, проте масштаби та територіальні межі кельтського впливу досі не встановлено однозначно для всього Піренейського регіону.

У дослідженні мовної спорідненості чітко розрізняють генетичну спорідненість; мовне запозичення; ареальну конвергенцію; субстратний вплив; випадкову фонетичну або лексичну схожість.

Дороманська мовна ситуація Піренеїв вирізняється як негетерогенна різнобарвна мозаїка етнокультурних та мовних груп. Відсутність єдиного мовного простору у регіоні виникла у результаті наявного на дороманський період різномаїття діалектів і мовних різновидів.

Мови західної частини Піренеїв знаходилися під сильним впливом аквітанської та давньобаскської мов, у той час, як мови центрального та східного регіонів Піренеїв характеризувалися тісними контактами з іберійськими, кельтськими та іншими мовними традиціями. Процес реконструкції цих мов ускладнюється, оскільки переважна більшість цих мов не залишила достатньої кількості письмових пам'яток, більшість етнічних мов або повністю зникли, або залишили лише окремі мовні сліди.

У дороманських мовах Піренеїв фактично не залишилися корпуси текстів, що вплинуло на фрагментарність у процесі дослідження. Реконструк-

ція мов обмежена припущеннями та дослідженнями власних імен, коротких написів, назв населених пунктів, річок тощо.

У процесі реконструкції особливого значення набуває вивчення і врахування аквітанської мови, яка відома головно завдяки написам римського періоду, виявленими переважно на території південно-західної Галлії. У цих написах зафіксовано особові імена та імена божеств, які демонструють певні паралелі із сучасною баскською мовою. Саме тому аквітанський мовний матеріал має фундаментальне значення для реконструкції давньої мовної ситуації Західних Піренеїв.

Дослідження дороманських мов проводяться переважно з урахуванням таких даних, як: епіграфічні пам'ятки, антропонімія, топонімія, гідронімія, свідчення античних авторів та романський лексичний субстрат.

Епіграфіка є одним із найважливіших джерел для вивчення дороманської мовної ситуації. Особливе значення мають написи римської епохи, у яких збереглися місцеві особові імена та назви божеств. Особливо цінне значення у цьому плані набувають аквітанські написи. Вони були виконані переважно латинською мовою, хоча при цьому містять не латинський ономастичний матеріал, що дає змогу дослідникам виявити деякі структурні та лексичні особливості, схожі з баскською. Таким чином, епіграфічні пам'ятки дозволяють досліджувати: фонетичні особливості давніх мов; систему особових імен; назви божеств; територіальне поширення окремих мовних елементів та взаємодію місцевих мов із латинською мовою. Треба враховувати той факт, що кількість таких пам'яток обмежена, в результаті чого вони не дають можливості повністю реконструювати граматичну будову та словниковий склад дороманських мов Піренейського регіону.

Топонімія як сукупність географічних назв є одним із важливих джерел для реконструкції дороманської мовної карти.

Назви гір, долин, поселень та інших географічних об'єктів можуть зберігатися протягом багатьох століть, тому в сучасній топонімії Піренеїв виявляються елементи різного походження.

Топонімічний матеріал дає можливість: встановити давні назви річок, озер та інших водойм; визначати території поширення окремих мов; простежити контакти між різними мовними групами, а також дослідити процеси мовних змін.

Антропонімія, тобто система особових імен, також є важливим джерелом інформації для дослідників. Аквітанські імена, зафіксовані в латинських написах, мають велике значення для дослідження дороманської піренейської мовної ситуації.

Порівняння антропонімів дозволяє визначати: характерні словотвірні елементи; повторювані корені; фонетичні особливості; територіальне поширення певних імен та можливі зв'язки між різними мовними системами.

Гідронімія як розділ науки, що вивчає назви річок, озер та інших водойм, розглядається як особливо консервативний шар мовної спадщини.

Інформацію про населення та мови Піренеїв частково можна отримати також із *праць античних географів та істориків*, оскільки античні автори досить часто згадували окремі племена, міста, території та етнічні групи. Такі свідчення допомагають співвідносити археологічні й мовні дані з конкретними регіонами.

Важливим джерелом дослідження є також *субстратна лексика*, тобто слова, що збереглися в мовах, що сформувалися після переходу населення на латинську мову. У деяких випадках у романських мовах Піренейського регіону існують слова, значення і походження яких не можливо пояснити лише латинською мовою, оскільки їхня етимологія пов'язана з дороманським субстратом або з більш пізніми запозиченнями з інших мов.

Однією з центральних проблем дослідження є визначення генетичних зв'язків між мовами, які існували в Піренейському регіоні. У цьому аспекті особливе місце займає баскська мова. За результатами останніх досліджень, вона не належить до індоєвропейської мовної сім'ї та не має загальновизнаного генетичного споріднення з іншою сучасною мовою. Через це у наукових дослідженнях баскську часто характеризують як мову-ізолят.

Протягом своєї історії баскська мова зазнала численних контактних впливів, зокрема з боку латини та інших романських мов.

Питання зв'язку баскської з аквітанською має особливе значення у наш час. Подібність між аквітанськими та баскськими антропонімами свідчить про тісний історичний зв'язок між мовами. Подібні мовні форми між ними пояснюються не стільки генетичною спільністю, скільки територіальними контактами.

Встановлення територіальних меж дороманських мов Піренеїв є одним із найбільш дискусійних питань.

Головна проблема полягає в тому, що мовні кордони рідко збігаються з політичними або археологічними межами. Крім того, на одній території могли співіснувати кілька мов, а населення могло бути багатомовним.

Особливо складно визначити межі поширення басксько-аквітанського мовного комплексу. Наявність антропонімів або топонімів, які мають можливі баскські паралелі, не завжди означає, що відповідна територія була повністю баскомовною.

Подібна проблема виникає під час визначення східної межі іберійського впливу та територій поширення кельтських мовних елементів.

Тому сучасний підхід передбачає не проведення абсолютно чітких мовних кордонів, а визначення зон більшої або меншої концентрації певних мовних ознак.

Особливо корисним у цьому випадку є зіставлення археологічних даних; епіграфіки; топонімії; антропонімії; гідронімії; античних географічних описів та подальшої мовної ситуації.

Такий комплексний підхід дозволяє створити більш обґрунтовану модель дороманської мовної карти Піренеїв.

Отже, дороманські Піренеї являли собою багатомовний та контактний простір, у якому співіснували різні мовні традиції. Найбільш добре дослідженим є західнопіренейський аквітансько-баскський компонент, тоді як мовна ситуація центральних та східних раґонів реконструюється значно складніше.

Відсутність великих текстових корпусів змушує дослідників спиратися на епіграфіку, топонімію, антропонімію, гідронімію, античні свідчення та субстратну лексику. Особливо важливим є реконструювати давню мовну ситуацію.

Водночас межі поширення дороманських мов залишаються приблизними, а питання їхньої спорідненості – дискусійними. Особливо важливим є встановлений на основі ономастичного матеріалу зв'язок аквітанської з давньою баскською мовною традицією, тоді як зв'язки баскської з іншими дороманськими мовами потребують обережної інтерпретації.



МОЙСЕЄНКО Валентина Олексіївна,

д-р мед. наук, професор,
Національний медичний університет
імені О. О. Богомольця МОЗ України
ORCID iD: 0000-0003-1402-6028

НИКУЛА Андрій Тарасович,

лікар-інтерн за спеціалізацією «внутрішня медицина»,
Тернопільський Національний медичний університет
імені І. Я. Горбачевського МОЗ України,
ORCID iD: 0009-0006-4974-7561
Україна

РОЛЬ ЛАКТОБАКТЕРІЙ У ПІДТРИМЦІ ГОМЕОСТАЗУ ОРГАНІЗМУ

Дисбіоз – клініко-лабораторний синдром, вторинне явище, що відображає функціональний стан шлунково-кишкового тракту (ШКТ) у процесі взаємодії з довкіллям, який характеризується метаболічними та імунними порушеннями, які часто супроводжуються клінічними симптомами. Дисбіоз кишки може сприяти розвитку й прогресуванню органічної патології, підтримувати і поглиблювати атипові зміни в ШКТ. А також розглядається як фактор ризику розвитку інших гастроентерологічних захворювань, порушень імунітету, алергії, метаболічної та системної патології¹.

Серед станів, що супроводжуються порушенням мікробіоти розрізняють: синдром подразненого кишечника (СПК), функціональна діарея, функціональне здуття, функціональний закреп, антибіотикоасоційована діарея, *Clostridium difficile*-асоційований коліт, запальні захворювання кишечника (неспецифічний виразковий коліт хвороба Крона й інші), хвороби нирок, некротизуючий ентероколіт у дітей, алергія, ожиріння, цукровий діабет, метаболічний синдром і деякі інші².

- 1 Fehily, S. R., Basnayake, C., Wright, E. K., Yao, C. K., Godsell, J., Gibson, P. R., & Kamm, M. A. (2024). Probiotics: Are they beneficial? *Internal Medicine Journal*, 54(6), 861–870. <https://doi.org/10.1111/imj.16388>; Puebla-Barragan, S., & Reid, G. (2021). Probiotics in cosmetic and personal care products: Trends and challenges. *Molecules*, 26(5), Article 1249. <https://doi.org/10.3390/molecules26051249>
- 2 Puebla-Barragan, S., & Reid, G. (2021). Probiotics in cosmetic and personal care products: Trends and challenges. *Molecules*, 26(5), Article 1249. <https://doi.org/10.3390/molecules26051249>

Лактобактерії належать до групи коменсальних мікроорганізмів, які беруть участь у підтримці мікробіоти, кишкового бар'єра, метаболічного та імунного гомеостазу. Їх ефекти є штам-специфічними, тому не всі лактобактерії (*Lactobacillus*) мають однакову клінічну дію.

Lactobacillus paracasei – грам+ молочнокислі бактерії, які відрізняються своїми особливими бродильними властивостями, що дає можливість використовувати їх як біологічний процесор їжі. Вони є ефективними імунomodуляторами, полегшують шкірні прояви алергії, запобігають ураженню слизової оболонки шлунка, кишечника, гальмують накопичення жирової тканини, впливають на стан кишкового імунітету, володіють антибактеріальною та антиоксидантною активністю, зменшують м'язову втому, покращують нейрокогнітивні функції та загальну якість життя у людей із синдромом хронічної втоми.

Lactobacillus rhamnosus – це грам+ факультативно анаеробні лактобактерії, які є частиною нормальної мікрофлори кишечника. Даний вид бактерій налічує велику кількість штамів, кожен з яких має певні особливості, виділяються зі слизової оболонки ШКТ, ротової порожнини здорових людей, присутні у жіночих сечовивідних шляхах, підтримують процеси травлення,

імунну систему, нормальну вагу та позитивно впливають на жіноче здоров'я, на рівень ГАМК в певних ділянках мозку і знижують рівень стрес-індукованого гормону кортикостерону, в результаті чого нормалізується поведінка, пов'язана з тривожністю і депресією.

Lactobacillus helveticus – це паличкоподібні лактобактерії, які знижують рівень тривоги, депресивних станів та гніву, нормалізують рівень кортизолу, підходять для дітей з перших днів життя, для людей літнього віку, особливо тим, хто страждає від таких вікових хвороб як гіпертензія, безсоння, проблеми із засвоєнням кальцію та міцністю кісток.

Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus – бактерії для підвищення імунітету, відновлення балансу мікрофлори у молодих і літніх людей, пришивають розщеплення токсинів.

Lactobacillus casei – грам+ молочнокисла паличкоподібна анаеробна неспороутворююча бактерія. Геном *L. casei* становить приблизно 2,9 млн пар основ. Є звичайними представниками ротової порожнини, ШКТ, кишечника, вульви і вагіни. У товстому кишечнику здорових дорослих людей *L. casei* — це 9,5 % загальної біомаси мікрофлори. Продукує молочну кислоту,

яка знижує та підтримує рівень кислотності в травній системі й пригнічує ріст умовно-патогенних мікроорганізмів, покращує регулярність дефекації, попереджує розвиток діареї і запальних захворювань кишечника.

Lactobacillus plantarum – дофамін бере активну участь в процесах винагорода, мотивації та навчання, концентрації та уваги. Штам Планта-рум *Lactobacillus plantarum* CECT 7485 був спеціально підібраний за його здатність виробляти ацетилхолін та поліфосфатні гранули, що посилюють бар'єрну функцію та зменшують запалення в епітелії кишечника.

Lactobacillus acidophilus – бактерія виживає в кисліших середовищах, ніж пов'язані види (pH 4-5 або менше), є гомоферментативним організмом, що виробляє лише молочну кислоту, ферментує лактозу до молочної кислоти, захищає організм від надмірного росту шкідливих бактерій і грибків, імплантується на стінках кишечника, тим самим запобігаючи розмноженню патогенних мікроорганізмів, заміщує корисні кишкові бактерії, знищені після антибіотикотерапії, зменшує прояви непереносимості лактози, підсилює синтез вітамінів групи B, покращує засвоєння кальцію.

Lactobacillus salivarius – це вид пробіотичних бактерій, які, як було встановлено, живуть у ШКТ та мають ряд терапевтичних властивостей, включаючи придушення патогенних бактерій, є корисним для полегшення симптомів метеоризму, у осіб, які страждають на дратівливість.

Пробіотики з лактобактеріями можуть застосовуватися при лактазній недостатності, оскільки деякі штами мають бета-лактозидазну (лактазну) активність, завдяки якій частково розщеплюють лактозу в кишечнику, зменшують кількість нерозщепленої лактози, що потрапляє в товсту кишку, змінюють ферментацію лактози мікробіотою, зменшують здуття, метеоризм, біль і діарею. Найбільш перспективними для вивчення є *Lactobacillus acidophilus* DDS і *Limosilactobacillus reuteri* DSM 17938.

Сучасні тенденції створення рекомбінантних мікроорганізмів ґрунтуються на отриманні на їх основі нових ефективних біопрепаратів (пробіотиків) з розширеним спектром біологічних і терапевтичних властивостей, а саме: *Lactococcus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Escherichia*. Обговорюються питання безпеки застосування пробіотиків на основі генномодифікованих штамів. Біопрепарати медичного та ветеринарного призначення на основі рекомбінантних мікроорганізмів з доведеною безпекою можна направлено і ефективно застосовувати для лікування і профілактики різноманіт-

них захворювань, починаючи від дисбактеріозу і закінчуючи серцево-судинними захворюваннями.

Pre / O Biotics™ є першим пре- / пробіотичним продуктом у світі, ефективність якого посилена завдяки 4Life Трансфер Фактору (4Life® Tri-Factor® Formula – 100 мг). Це фірмова суміш, яка була протестована в незалежних університетських лабораторіях. Вона містить п'ять штамів добре досліджених пробіотиків та три типи пребіотиків для оптимізації росту здорових пробіотиків. Ексклюзивна доставки у вигляді мікрогранул, пробіотики доставляються безпосередньо в кишечник, уникаючи руйнівного впливу шлункового соку і травних ферментів. Поряд з біфідобактеріями (3 штами: – *longum* (BB536), *lactis* (BI-04), *infantis* (M-63)) і олігосахаридами (3 штами: *Galactooligosaccharides* (GOS), *Xylooligosaccharides* (XOS), *Fructooligosaccharides* (FOS)) містить 2 штами лактобактерій: *Lactobacillus rhamnosus* (LR 32) і *Lactobacillus acidophilus* (LA 14)³.

Таким чином, не варто розглядати «лактобактерії» як єдину функціональну групу, їх ефект визначається конкретним видом і штамом, дозою та клінічною ситуацією, слід враховувати докази для конкретного показання.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-167-170

3 Li, Y., Hintze, K. J., & Ward, R. E. (2021). Effect of supplemental prebiotics, probiotics and bioactive proteins on the microbiome composition and fecal calprotectin in C57BL6/j mice. *Biochimie*, 185, 43–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2021.02.010>

ТКАЧУК Ілона Львівна,
канд. мистецтвознавства, доцент,
Львівська національна академія мистецтв
ORCID iD: 0000-0001-9364-0290
Україна

КОГНІТИВНА МАТРИЦЯ СПРИЙНЯТТЯ: ЧОМУ КЛАСИЧНИЙ РИСУНОК І ЖИВОПИС ЗАЛИШАЮТЬСЯ НЕЗАМІННИМИ В ЕПОХУ DIGITAL ART

У сучасній системі вищої мистецької та дизайнерської освіти дедалі частіше постає питання доцільності збереження класичних навчальних методів. На відміну від традиційного педагогічного підходу, який трактує академічну практичну підготовку винятково через призму художніх традицій та естетичних канонів, актуальний стан науки вимагає зосередження уваги також на нейробіологічних, пропріоцептивних та психомоторних аспектах образотворчої діяльності.

Дослідження цієї проблеми доводить, що практична робота з класичними художніми матеріалами створює унікальний мультисенсорний досвід, розвиває тонкий моторний контроль та активує складні нейронні мережі, зокрема медіальну префронтальну кору та моторну систему, функціонування яких суттєво редукується за умов суто цифрового опосередкування. Крім того, практична діяльність у фізичному матеріалі відіграє фундаментальну роль у профілактиці когнітивної виснаженості та забезпечує глибинну просторово-пропріоцептивну інтеграцію, що робить академічні дисципліни «Рисунок» та «Живопис» незамінним фундаментом у формуванні сучасного фахівця.

В еру тотальної цифровізації освітнього простору та поширення програм штучного інтелекту у сфері візуальних мистецтв постає гостре питання необхідності збереження достатнього часового обсягу для вивчення дисциплін «Рисунок» та «Живопис». Скептичні погляди нерідко

зводять ці предмети до застарілого консервативного ремесла, яке нібито програє в ефективності сучасним цифровим інструментам. Однак такий підхід повністю ігнорує когнітивну та нейробіологічну природу людського сприйняття та творчості. Академічні образотворчі дисципліни – це не просто вивчення правил перспективи, анатомії чи кольорознавства, а насамперед складний тренінг моторної кори та сенсорних систем, який активує механізми нейропластичності. У зв'язку з цим виникає потреба наукового обґрунтування необхідності рисунку та живопису через призму сенсорного досвіду, моторного контролю та нейробіологічних змін у головному мозку.

Фундаментальний розвиток фахівця розпочинається з мультисенсорного сприйняття матеріалу. Робота з традиційними художніми засобами: вугіллям, олівцем, соусом, олійними чи акварельними фарбами, – суттєво відрізняється від взаємодії з гладкою скляною чи пластиковою поверхнею цифрового планшета. Класична художня практика активує тактильний, кінестетичний, слуховий і навіть нюховий сенсорні канали. Зокрема, опір паперу, зернистість полотна, в'язкість олійної фарби чи плинність акварелі створюють безперервний тактильний потік даних. Водночас шерех вугілля чи олівця об папір слугує додатковим слуховим підкріпленням і сенсорним маркером, який дозволяє мозочку моніторити силу натиску та швидкість руху в реальному часі. Як підтверджують дослідження в галузі сенсорної інтеграції, така мультисенсорна стимуляція під час навчання формує значно стійкіші когнітивні зв'язки, ніж одноканальне, суто візуальне сприйняття¹.

Окрім тактильних і слухових відчуттів, критичну роль відіграє пропріоцепція – відчуття положення власного тіла у просторі. Згідно з класичними феноменологічними концепціями сприйняття, осягнення об'єму та форми людиною не є пасивним розшифруванням зорового сигналу, а безпосередньо прив'язане до рухів та пропріоцепції всього тіла². Під час роботи над рисунком або живописом великого формату художник працює не лише кистю руки, а й залучає плечовий суглоб, корпус та постійно змінює відстань від мольберта до натури. Цей процес вимагає безперервного узгодження зорової системи з пропріоцептивними сигналами м'язів і су-

1 Eisner, E. W. (2002). *The arts and the creation of mind*. Yale University Press.

2 Merleau-Ponty, M. (2012). *Phenomenology of perception* (D. A. Landes, Trans.). Routledge.

хожиль. Сенсомоторна теорія сприйняття підтверджує, що тривимірний простір натури «проживається» тілесно та перекодовується у двовимірну площину не як стала геометрична схема, а як об'ємно-просторовий відчуттєвий досвід, оскільки дія є невід'ємною частиною зорового процесу³.

Глибинне опрацювання форми тісно пов'язане з функціонуванням моторних систем мозку. Виконанню академічного штриха чи мазка передують складна робота мозочка та базальних гангліїв, які відповідають за калібрування моторних команд. Тонкий моторний контроль у рисунку вимагає виняткової точності м'язового зусилля, адже навіть найменша зміна інтенсивності натиску на олівець змінює тон лінії від світло-сірого до глибокого чорного. Активне тренування точних рухів руки розширює нейронне представництво відповідних м'язових груп у первинній моторній корі, що доводить високий рівень пластичності моторних структур під час опанування інструментами⁴. Сама координація «око–рука» в рисунку представляє безперервну петлю зворотного зв'язку: зорове сприйняття → аналіз відхилення → коригувальний моторний імпульс → оцінка результату, – у межах теорії моторної адаптації⁵.

У нейрофізіологічних дослідженнях сенсомоторної адаптації та інструментального праксису доведено, що опанування фізичних інструментів вимагає від мозку постійного формування внутрішніх моторних моделей⁴. Розвиток такої тонкої мануальної моторики стимулює нейропластичність і безпосередньо пов'язаний із підвищенням когнітивної гнучкості та здатності до просторового аналізу⁶. На противагу цьому, у цифровому середовищі моторний акт є надміру стереотипізованим: палець або стилус рухається по однакових площинах, а силу натиску часто коригують програмні алгоритми згладжування та стабілізації⁷. Така заміна натурального опору матеріалу на програмну імітацію позбавляє моторну систему необхідності здійснювати тонку мікрорегуляцію та призводить до «моторного спрощення». Це суттєво знижує ступінь залу-

3 Noë, A. (2004). *Action in perception*. MIT Press.

4 Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.008>

5 Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2010). Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. *Annual Review of Neuroscience*, 33, 89–108. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153135>

6 Winner, E., Goldstein, T. R., & Vincent-Lancrin, S. (2013). *Art for art's sake? The impact of arts education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264180789-en>

7 Schenk, P. (2016). *Drawing in the design process: Characterising industrial and educational practice*. Intellect Books.

чення нейронних мереж, відповідальних за просторовий праксис та активну когнітивну обробку⁸.

Значення класичного образотворчого процесу з погляду нейробіології виявляється також у процесах сенсорно-афективної регуляції. Сучасні нейровізуалізаційні дослідження, зокрема із застосуванням функціональної ближньої інфрачервоної спектроскопії (fNIRS), показують, що практична образотворча діяльність викликає суттєві позитивні зміни в нейронній активності⁹. Навіть короткі сесії образотворчості призводять до підвищення активації медіальної префронтальної кори (mPFC) – ділянки, що відповідає за емоційну регуляцію, самореферентне опрацювання інформації та суб'єктивне оцінювання винагороди⁹. Водночас безпосередній контакт із художніми матеріалами та занурення у творчість суттєво зменшують тілесне й психологічне напруження, що підтверджується системним зниженням рівня кортизолу¹⁰. Активація дофамінергічних шляхів під час традиційного малювання протидіє емоційному виснаженню та підвищує відчуття власної ефективності (self-efficacy), формуючи цілісний нейронний контур: від мульти-сенсорного контакту з матеріалом через мозочкове калібрування й моторну кору до регуляції в медіальній префронтальній корі.

Окрім регуляції афекту, академічний живопис вимагає постійного переключення між двома типами обробки зорової інформації: первинним збором сенсорних даних *bottom-up* (аналіз колірної плями, тону, силуету, контрасту) та застосуванням системних знань *top-down* (закони світлотіні, пропорції, повітряна перспектива)¹¹. Такий подвійний процес тренує виконавчий контроль кори великих півкуль, навчаючи студента пригнічувати зорові ілюзії на користь аналітичного бачення тональних і колірних відношень^{1,6}. Здатність свідомо активізувати внутрішнє зорове уявлення та аналітично опрацьовувати візуальні образи формує фундаментальну когнітивну базу для створення складних композицій.

8 Van der Meer, A. L., & van der Weel, F. R. (2017). Only three fingers write, but the whole brain works: A high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 706. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00706>

9 Kaimal, G., Ayaz, H., Herres, J., Dieterich-Hartwell, R., Makwana, B., Kaiser, D. H., & Nasser, J. A. (2017). Functional near-infrared spectroscopy assessment of reward perception based on visual self-expression: Coloring, doodling, and free drawing. *The Arts in Psychotherapy*, 55, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.aip.2017.05.004>

10 Kaimal, G., Ray, K., & Muniz, J. (2016). Reduction of cortisol levels and participants' responses following art making. *Art Therapy*, 33(2), 74–80. <https://doi.org/10.1080/07421656.2016.1166832>

11 Fish, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the mind's eye: Sketching and visual cognition. *Leonardo*, 23(1), 117–126.

Зазначені когнітивні та нейробиологічні механізми також мають безпосереднє практичне значення для галузі цифрового візуального мистецтва. Помилково вважати, що фахівцям з цифрового дизайну та комп'ютерної графіки не потрібна академічна база, адже віртуальне середовище надає лише інструменти, але не буде когнітивну матрицю сприйняття. 3D-редактори чи графічні пакети лише імітують фізичний світ за готовими математичними алгоритмами. Вони не вчать мозок самостійно деконструювати тривимірну форму, аналізувати світлотіньові нюанси або відчувати повітряну перспективу. Віртуальне середовище дає технологію, а не художнє мислення: цифровий інструмент дозволяє швидко реалізувати задум (накласти текстуру, змінити колір чи побудувати сітку), але сам задум, пропорції, пластика й комбінаторне мислення виникають лише в мозку художника, чиє сприйняття вже сформоване академічною базою. Такий фахівець володіє глибиною об'ємно-просторового бачення і відчуває форму «наскрізь», завдяки чому його лінія чи 3D-сітка підпорядкована внутрішній конструкції, а не випадковому зовнішньому контуру. Живопис формує живе відчуття кольору в постійній динаміці та взаємозв'язку (через рефлексії, теплохолодність, світлотіньові відношення), що уберігає художника комп'ютерної графіки від використання дисгармонійних колірних рішень. Зрештою, прямий зв'язок «мозок–рука» забезпечує високу швидкість аналітичного скетчингу, дозволяючи миттєво фіксувати концептуальні ідеї на папері без бар'єрів у вигляді складного програмного інтерфейсу, який створює перешкоди через додаткове когнітивне навантаження та розрив безпосереднього сенсомоторного зв'язку⁷. Творча ідея чи візуальний образ у робочій пам'яті є дуже нестабільними й тримаються лічені секунди. Якщо замість швидкого руху олівцем людина змушена шукати потрібний пензель, змінювати розмір чи перемикаючи шар, ресурси мозку перемикаються на навігацію і первинний образ частково втрачається. Постійне мікроперемикання між «творчим баченням» і «технічним керуванням» виснажує префронтальну кору та руйнує стан творчого потоку. У результаті інтерфейс стає посередником, який уповільнює процес аналітичного мислення та позбавляє скетчинг його головної переваги – миттєвості фіксації ідеї. У традиційному ж рисунку зв'язок між імпульсом і лінією є миттєвим, а моторний контроль здійснюється на рівні підкіркових структур та мозочка без свідомих зусиль.

Дослідження доводить, що дисципліни «Рисунок» та «Живопис» у сучасній системі вищої освіти є не просто елементом класичної художньої

традиції чи реліктовим ремеслом, а складною нейробіологічною та психомоторною системою підготовки, яка не має повноцінних цифрових аналогів. Практична робота з натуральними художніми матеріалами забезпечує багатоканальну стимуляцію сприйняття, яка запобігає сенсорній депривації, притаманній тривалій роботі з екранами. Графічні редактори та штучний інтелект є лише інструментами візуалізації, тоді як академічна база формує фундаментальну когнітивну матрицю.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-171-176

ПРИТУЛА Олександр Леонтійович,

д-р філос. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0001-8800-8207

КОНОХ Анатолій Петрович,

д-р. пед. наук, професор,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0003-4283-9317

КОНОХ Олена Євгеніївна,

канд. наук з фіз. вих. і спорту, доцент,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0002-8970-0817

КОНОХ Андрій Анатолійович,

канд. пед. наук, доцент,
Запорізький національний університет
ORCID iD: 0000-0001-9719-0418
Україна

ФІЛОСОФСЬКО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КОЗАЦЬКОЇ СПАДЩИНИ У ФОРМУВАННІ ГОТОВНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ І СПОРТУ ДО ЗАХИСТУ БАТЬКІВЩИНИ

Актуальність проблеми дослідження зумовлена сучасними соціокультурними та безпекові виклики зумовлюють необхідність переосмислення змісту професійної підготовки фахівців фізичної культури і спорту, зокрема в напрямі формування їхньої готовності до захисту Батьківщини.

Така готовність не може обмежуватися лише належним рівнем фізичної підготовленості. Вона передбачає сформованість системи мотиваційно-ціннісних орієнтацій, морально-вольових якостей, громадянської відповідальності, психологічної стійкості, здатності до командної взаємодії та практичної готовності діяти в складних умовах.

Особливого значення в цьому контексті набуває потенціал української козацької педагогіки, у якій фізичне загартування традиційно поєднувалося з вихованням мужності, честі, відповідальності, побратимства, самодисципліни та готовності захищати громаду і Батьківщину. Сучасне переосмислення цих ідей дає можливість інтегрувати їх у систему професійної підготовки фахівців фізичної культури і спорту. Важливим науковим підґрунтям такого підходу є дослідження А. П. Коноха та О. Л. Притули, у якому обґрунтовано підготовку майбутніх фахівців фізичної культури і спорту до використання національних засобів фізичного виховання у професійній діяльності¹. Подальший розвиток цієї проблематики представлено у праці А. П. Коноха, А. А. Коноха та О. Л. Притули «Козацька педагогіка як спосіб формування здоров'я майбутніх фахівців фізичної культури»², де козацька педагогіка розглядається як педагогічний ресурс професійної та особистісної підготовки майбутніх фахівців.

Важливе місце у розробленні педагогічних засад національного виховання посідають праці В. Є. Береки. Зокрема, у співавторстві з Л. В. Буймістер та І. М. Шоробурою ним підготовлено навчально-методичний посібник «Козацько-лицарське виховання в навчальних закладах»³, що безпосередньо стосується використання козацької традиції у сучасному освітньому процесі. Практичне впровадження методів козацької педагогіки зокрема розглянуте в посібнику авторської групи педагогів з Черкащини «Козацько-лицарське виховання у закладах освіти Черкащини», де автори діляться практичними програмами козацького виховання в різних сферах⁴. Водно-

1 Конох А. П., Притула О. Л. Підготовка майбутніх фахівців фізичної культури і спорту до використання національних засобів фізичного виховання у професійній діяльності : монографія / А. П. Конох, О. Л. Притула. Запоріжжя : СТАТУС, 2017. 296 с.

2 Конох А. П., Конох А. А., Притула О. Л. Козацька педагогіка як спосіб формування здоров'я майбутніх фахівців фізичної культури. Вісник науки та освіти /Серія «Педагогіка». 2025. С. 2815-2826. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-11\(41\)-2815-2826](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-11(41)-2815-2826)

3 Берека В. Є. Козацько-лицарське виховання в навчальних закладах : навч.-метод. посіб. / В. Є. Берека, Л. В. Буймістер, І. М. Шоробура ; Хмельниц. обл. ін-т післядиплом. пед. освіти, Хмельниц. гуманітар.-пед. акад. Хмельницький : Заколотний М. І., 2015. 342 с.

4 Козацько-лицарське виховання у закладах освіти Черкащини: навч.-метод. посіб. / Кудін В. С., Бугайчук Н. В., Гловацький С. В., Лемешева Н. А. Черкаси : КНЗ «ЧОПОПП ЧОР», 2018. 191с

час проблема саме педагогічних умов розвитку готовності фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини на основі провідних ідей козацької педагогіки потребує подальшого комплексного дослідження, що й визначає спрямованість цієї монографії.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та визначення педагогічних умов розвитку у фахівців фізичної культури і спорту готовності до захисту Батьківщини засобами та провідними ідеями української козацької педагогіки.

Для досягнення мети визначено такі завдання: проаналізувати теоретичні засади готовності до захисту Батьківщини; розкрити виховний потенціал козацької педагогіки; визначити структурні компоненти готовності; обґрунтувати педагогічні умови її розвитку; визначити можливості використання козацького бойового мистецтва «Спас» у професійній підготовці фахівців фізичної культури і спорту.

Об'єктом дослідження є процес професійної підготовки фахівців фізичної культури і спорту. *Предметом дослідження* є педагогічні умови розвитку готовності фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини на основі провідних ідей козацької педагогіки.

Методологічну основу дослідження становлять системний, компетентнісний, особистісно орієнтований, діяльнісний, культурологічний та аксіологічний підходи. Їх поєднання дає змогу розглядати готовність до захисту Батьківщини як інтегральне утворення особистості, що формується в процесі поєднання фізичної, морально-вольової, психологічної, громадянської та практичної підготовки.

Важливим методологічним орієнтиром є концептуальне поєднання фізичного виховання, національної культури та козацької педагогіки, представлене у працях А. Коноха, О. Притули, Ф. Товстопятко, М. Філатова, С. Парій⁵, а також Тверезовського В. Г., Шматкова А. І., Сидоренко О. Р., Бабиць В. Г.⁶. Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні комплексу педагогічних умов розвитку готовності фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини на основі інтеграції провідних

5 Товстопятко Ф. Ф. Становлення фізичної культури в добу козацтва: значення національних козацьких ігор у фізичній підготовці / Ф. Ф. Товстопятко, О. Л. Притула, М. М. Філатов, С. Б. Парій // Актуальні питання у сучасній науці. 2025. № 2 (32). С. 1228–1238. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-2\(32\)](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-2(32))

6 Тверезовський В. Г., Шматкова А. І., Сидоренко О. Р., Бабиць В. Г. Фізичне виховання у контексті козацької педагогіки : навч.-метод. посіб. / В. Г. Тверезовський, А. І. Шматкова, О. Р. Сидоренко, В. Г. Бабиць. Суми : Вид-во СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2010. 160 с.

ідей козацької педагогіки із сучасним змістом професійної фізкультурно-спортивної освіти.

Практичне значення полягає у можливості використання запропонованих педагогічних умов, змісту, форм і методів у професійній підготовці студентів спеціальності «Фізична культура і спорт», системі військово-патріотичного виховання, діяльності спортивних і молодіжних організацій, а також під час вивчення національних бойових мистецтв, зокрема козацького бойового мистецтва «Спас».

В теоретичному плані однією з ключових педагогічних проблем процесу підготовки фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини є їх готовність до даної діяльності. Проблема формування готовності особистості до захисту Батьківщини набуває особливого значення в сучасних умовах, коли система освіти має забезпечувати не лише професійну компетентність фахівця, а й його здатність відповідально діяти в умовах суспільних викликів, небезпек і кризових ситуацій. Для фахівця фізичної культури і спорту ця проблема має особливу специфіку, оскільки його професійна діяльність безпосередньо пов'язана з фізичним розвитком людини, формуванням рухових умінь, витривалості, самодисципліни, командної взаємодії та здоров'язбережувальної компетентності.

У педагогічній науці поняття «готовність» розглядається як складне особистісне утворення, яке поєднує мотиваційні, когнітивні, емоційно-вольові та діяльнісні характеристики особистості⁷. У контексті професійної освіти готовність передбачає не тільки наявність певної суми знань і сформованих умінь, а й внутрішню спрямованість особистості на виконання відповідної діяльності та здатність практично реалізувати набуті компетентності⁸. Тому готовність до захисту Батьківщини доцільно визначати як інтегральну характеристику особистості, що відображає сформованість ціннісної мотивації, необхідних знань, фізичних і психологічних якостей, морально-вольової стійкості та практич-

7 Бутузова Л. П., Мельник Т. С. Мотиваційна готовність студента до педагогічної діяльності. *World science: problems, prospects and innovations* : proceedings of the 10th International scientific and practical conference (Toronto, Canada, 16–18 June 2021). Toronto : Perfect Publishing, 2021. Pp. 219–227. URL: <https://sci-conf.com.ua/xmezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-world-science-problemsprospects-and-innovations-16-18-iyunya-2021-goda-toronto-kanada-arhiv/>

8 Малахова О. Г. Мотиваційна готовність здобувачів освіти до формування педагогічних компетентностей на практичних заняттях з методики фізичного виховання дітей дошкільного віку. *Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects* : proceedings of the 15th International scientific and practical conference (Berlin, Germany, 14–16 August 2022). Berlin : MDPC Publishing, 2022. P. 231.

них умінь, необхідних для відповідальної діяльності із захисту держави, суспільства та громадян.

Важливе значення для розуміння цього феномену мають дослідження, у яких готовність до захисту Вітчизни розглядається через систему взаємопов'язаних компонентів. Зокрема, у дослідженнях військово-патріотичного виховання виокремлюються мотиваційно-ціннісний, когнітивний, емоційно-вольовий та діяльнісно-практичний компоненти. Такий підхід дає підстави розглядати готовність не як статичний стан, а як результат цілеспрямованого педагогічного процесу⁹.

Поняття військово-патріотичної готовності є ширшим за суто фізичну готовність до виконання військово-прикладних завдань. Воно охоплює усвідомлення особистістю значущості захисту держави, сформованість громадянської відповідальності, повагу до історії та культурних традицій українського народу, готовність до суспільно корисної діяльності, моральну стійкість і здатність діяти в інтересах колективу. Отже, військово-патріотична готовність має одночасно ціннісний, інтелектуальний, фізичний, психологічний, морально-вольовий і соціальний виміри.

Особливе місце в її структурі посідає фізична готовність. Вона передбачає належний рівень розвитку сили, швидкості, витривалості, спритності, координації, гнучкості та інших фізичних якостей, а також сформованість прикладних рухових умінь. Дослідження Я. Зорія та В. Богатирця підтверджує значущість фізичної культури як одного з чинників підготовки молоді до майбутньої військової служби та захисту незалежності й територіальної цілісності держави. Автори акцентують на необхідності створення освітнього середовища, у якому рухова активність поєднується з мотиваційним і виховним впливом¹⁰.

Водночас фізична готовність не може розглядатися ізольовано від психологічної готовності. Остання передбачає здатність людини зберігати самоконтроль, приймати рішення в умовах невизначеності, долати страх і втому, адаптуватися до змінних умов діяльності та підтримувати ефективну взаємодію з іншими. У цьому контексті важливим є форму-

9 Зубалій М. Д., Тимчик М. В. Методика формування у старшокласників готовності до захисту Вітчизни в різних типах закладів освіти : метод. посіб. / за ред. О. І. Остапенка. Кропивницький : Імекс-ЛТД, 2019. 168 с.

10 Зорій Я., Богатирець В. Важливість фізичної культури як елемента формування готовності школярів до майбутньої військової служби. (2025). *Physical culture and sport: scientic perspective*, 4, 66-74. DOI: <https://doi.org/10.31891/pcs.2025.4.7>

вання стійких навичок саморегуляції, відповідальності та усвідомленої поведінки.

Важливою складовою є морально-вольова готовність, яка виявляється у відповідальності, дисциплінованості, наполегливості, сміливості, витримці, здатності долати труднощі та виконувати поставлені завдання. Саме ця складова забезпечує перехід від усвідомлення необхідності захисту Батьківщини до готовності діяти. Вона формується не одноразовими виховними заходами, а систематичною діяльністю, яка передбачає подолання труднощів, виконання індивідуальних і колективних завдань, дотримання дисципліни та відповідальність за результат. Соціальна складова готовності характеризує здатність особистості до взаємодії, взаємодопомоги, командної діяльності, лідерства та відповідального виконання соціальної ролі. Для фахівця фізичної культури і спорту вона має подвійне значення: по-перше, як характеристика його особистої готовності, по-друге, як професійна компетентність педагога, здатного формувати відповідні якості у здобувачів освіти.

Особливу увагу проблемі поєднання професійної підготовки фахівця фізичної культури з українськими національними традиціями приділяють А. Конох та О. Притула¹¹. У їхньому дослідженні виховання майбутніх фахівців фізичної культури в традиціях запорозького козацтва розглядається як важливий напрям удосконалення професійної підготовки. Автори наголошують на значенні духовної підготовки та традицій козацтва як основи, на якій можуть розвиватися інші форми і методи навчання та виховання.

Системне обґрунтування використання національних засобів фізичного виховання у професійній діяльності фахівців представлено в монографії А. П. Коноха та О. Л. Притули «Підготовка майбутніх фахівців фізичної культури і спорту до використання національних засобів фізичного виховання у професійній діяльності» (2017). Сам факт спрямування монографічного дослідження на професійну підготовку майбутніх фахівців до використання національних засобів фізичного виховання створює методологічне підґрунтя для розгляду козацької педагогіки як ресурсу сучасної професійної освіти.

11 Притула О. Л. Професійна підготовка майбутніх учителів фізичної культури до виховання молоді в традиціях запорозького козацтва. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах: зб. наук. пр. / [голов. ред. Т. І. Сущенко та ін.]. Запоріжжя, 2015. Вип. 42 (95). . 2015. № 42(95). С. 252–257.

Подальший розвиток цієї наукової позиції простежується у сучасних працях А. П. Коноха, А. А. Коноха та О. Л. Притули, присвячених козацькій педагогіці як засобу формування здоров'я майбутніх фахівців фізичної культури. Автори розглядають козацьку педагогіку в контексті цілісного розвитку особистості та здоров'язбереження, що є важливим для формування фізичної і професійної готовності майбутнього фахівця¹².

Отже, специфіка готовності фахівця фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини полягає в інтеграції професійної, фізичної, морально-вольової, психологічної, соціальної та громадянсько-патріотичної готовності. Такий фахівець має бути не лише носієм спеціальних знань і рухових умінь, а й організатором фізкультурно-спортивної діяльності, здатним власним прикладом формувати культуру здоров'я, дисциплінованість, відповідальність, командність і патріотичні цінності.

У цьому аспекті перспективним є використання провідних ідей козацької педагогіки, зокрема ідей фізичного та духовного загартування, служіння громаді й Батьківщині, побратимства, взаємодопомоги, особистої відповідальності, наступності поколінь та поєднання фізичного вдосконалення з моральним вихованням. Сучасна праця О. Притули, А. Коноха, О. Рябека, К. Рижова та інших авторів «Козацький звичай Спас» безпосередньо орієнтована на використання козацької традиції у національно-патріотичному вихованні, що розширює можливості практичного застосування зазначених ідей у підготовці фахівців фізичної культури і спорту¹³.

Таким чином, готовність до захисту Батьківщини доцільно трактувати як інтегральний результат професійного та особистісного розвитку фахівця, що формується в освітньому процесі за умови цілеспрямованого поєднання фізичної підготовки, морально-вольового виховання, психологічної підготовки, громадянсько-патріотичного виховання, соціальної взаємодії та практичної діяльності. Козацька педагогіка в такій системі може виконувати не лише історико-культурну, а й методологічну та практично-педагогічну функцію, забезпечуючи органічне поєднання фізичного розвитку особистості з її ціннісним, моральним і громадянським становленням.

12 Конох А. П., Конох А. А., Притула О. Л. Козацька педагогіка як спосіб формування здоров'я майбутніх фахівців фізичної культури. Вісник науки та освіти /Серія «Педагогіка». 2025. С. 2815-2826. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-11\(41\)-2815-2826](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-11(41)-2815-2826).

13 Притула О. Л., Конох А., Рижов К. А., Рябека О., Шербаков С. Козацький Звичай Спас (національно-патріотичне виховання на засадах козацького звичаю Спас). Запоріжжя : Дніпровський металург, 2024. 260 с.

Козацька педагогіка є важливою складовою української педагогічної традиції, у якій виховання особистості поєднувало фізичний розвиток, моральне становлення, духовність, громадянську відповідальність і готовність до захисту рідної землі. Сучасні дослідження Ф. Товстоп'ятка та О. Притули засвідчують доцільність використання національних традицій, зокрема, запорозького козацтва як превентивного методу оздоровлення людини, а отже і підготовки фахівців в даному напрямку. Автори акцентують на комплексному підході у підготовці як фундаменті інших напрямів виховання та професійного розвитку особистості¹⁴.

Ідея служіння Батьківщині та відповідальності за її захист. Однією з провідних ідей козацької педагогіки є усвідомлення особистої відповідальності за долю громади, рідної землі та держави. У сучасній професійній підготовці фахівця фізичної культури ця ідея може реалізовуватися через формування громадянської відповідальності, патріотизму, дисциплінованості та готовності діяти в складних соціальних ситуаціях. У навчально-методичних працях, присвячених козацькій педагогіці та козацькому звичаю «Спас», підкреслюється орієнтація виховання на формування фізично здорової, морально стійкої та національно свідомої особистості, здатної до самозахисту й активної участі в суспільному житті¹⁵.

Ідея фізичного, морально-вольового та духовного загартування. Козацька педагогіка розглядає фізичне вдосконалення не ізольовано, а як складову цілісного розвитку особистості. Сила, витривалість, самоконтроль, мужність і наполегливість мають поєднуватися з моральними та духовними якостями¹⁶. Ідея побратимства, взаємодопомоги та колективної відповідальності. Козацька традиція передбачає особливу роль громади, побратимства, взаємної підтримки та відповідальності за товариша. У професійній підготовці фахівців фізичної культури ці принципи можуть реалізовуватися через командні спортивні вправи, групові завдання, змагання, взаємонавчання та розвиток лідерських якостей. Такий підхід

14 Притула О. Л., Товстоп'ятко Ф. Ф. Національні методи фізичної культури як превентивна система оздоровлення населення. Академічні візії, 2024. № 32. С. 1-11. URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/2377>.

15 Притула О. Л. Козацька педагогіка. Минуле і сучасність. Козацька педагогіка. Теорія і практика: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції. (14 квітня 2026 р., м. Запоріжжя) Запоріжжя : Просвіта, 2026. С. 97-101. URL: https://spas.center.ua/biblioteka/18_materiali-v-mizhnarodnoyi-naukovo-praktichnoyi-konferenciyi--kozacka-pedagogika--teoriya-i-praktika

16 Притула О. Л. Виховання захисника Вітчизни в історико-філософському контексті. Вища освіта України, 2024. № 3. С. 79-88. URL: <https://journals.udu.kyiv.ua/index.php/vou/article/view/264>.

сприяє формуванню довіри, комунікативної компетентності, здатності координувати власні дії з діями інших і брати відповідальність за спільний результат. Ідея наступності поколінь і збереження національної культурної спадщини. Важливим завданням козацької педагогіки є передавання від покоління до покоління історичного досвіду, традицій, моральних норм і способів фізичного вдосконалення. У цьому контексті фізична культура, національні види спорту та бойові мистецтва можуть виступати засобами збереження й актуалізації культурної спадщини. Праці О. Притули, А. Коноха та їхніх співавторів розглядають козацький звичай «Спас» саме як педагогічний ресурс національно-патріотичного виховання та формування особистості захисника України.

Отже, провідні ідеї козацької педагогіки - служіння Батьківщині, відповідальність, фізичне й духовне загартування, побратимство, взаємодопомога та наступність поколінь можуть бути інтегровані у сучасну професійну підготовку фахівців фізичної культури і спорту. Їх реалізація створює передумови для формування не лише фізично підготовленого фахівця, а цілісної особистості, здатної до відповідальної професійної та громадянської діяльності.

Розвиток готовності фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини доцільно розглядати як цілісний педагогічний процес, у якому поєднуються професійна підготовка, фізичне вдосконалення, громадянсько-патріотичне виховання, морально-вольовий розвиток та набуття практичного досвіду. Сучасні дослідження готовності майбутніх фахівців фізичної культури і спорту підтверджують її *багатокомпонентний характер*. Зокрема, у дослідженнях А. Богатова виокремлено мотиваційно-ціннісний, когнітивний, діяльнісний і рефлексивний компоненти професійної готовності, а в дослідженнях підготовки фахівців до туристичної діяльності застосовується диференціація готовності за критеріями та чотирма рівнями – низьким, середнім, достатнім і високим¹⁷. Запропонована модель передбачає сім взаємопов'язаних компонентів готовності: *мотиваційно-ціннісний, когнітивний, фізичний, морально-вольовий, психологічний, діяльнісно-практичний та соціально-комунікативний*. Мотиваційно-ціннісний компонент характеризує усвідомлення громадянського обов'язку,

¹⁷ Богатов А. Компоненти і критерії підготовленості майбутніх учителів фізичної культури до формування здоров'язбережувального середовища. Наука і освіта : наук.-практ. журнал, 2016. № 1. С. 67–72.

цінності свободи, незалежності та відповідальності за захист держави. Когнітивний охоплює знання з фізичної, військово-прикладної, національно-патріотичної та безпекової підготовки.

Фізичний компонент передбачає належний рівень сили, витривалості, швидкості, спритності, координації та інших фізичних якостей. Морально-вольовий включає дисциплінованість, наполегливість, мужність, відповідальність і здатність долати труднощі. Психологічний компонент пов'язаний із саморегуляцією, стресостійкістю та здатністю діяти в умовах невизначеності. Діяльнісно-практичний характеризує здатність застосовувати набуті знання й уміння у практичних ситуаціях, а соціально-комунікативний – здатність до командної взаємодії, взаємодопомоги, лідерства та відповідальності за спільний результат. Такий підхід відповідає сучасному розумінню готовності як інтегрального утворення. Для фахівця фізичної культури це особливо важливо, оскільки професійна діяльність передбачає одночасне застосування знань, фізичних умінь, організаторських і комунікативних компетентностей.

Оцінювання готовності доцільно здійснювати за мотиваційно-ціннісним, когнітивним, фізичним, морально-вольовим, психологічним, діяльнісно-практичним і соціально-комунікативним критеріями. Показниками можуть бути сформованість громадянської позиції, рівень відповідних знань, фізична підготовленість, здатність до самоконтролю, стресостійкість, практичні вміння, командна взаємодія та відповідальність. Відповідно до сукупності зазначених показників визначено *чотири рівні готовності: високий, достатній, середній та низький*. Подібна чотирирівнева модель використовується і в сучасних дослідженнях готовності фахівців фізичної культури і спорту до професійної діяльності ¹⁸.

Реалізацію моделі пропонується здійснювати послідовно наступними етапами: 1) мотиваційний; 2) теоретичний; 3) практичний; 4) інтеграційний; 5) рефлексивний етапи. Важливим підґрунтям моделі є дослідження М. Михальчука безпосередньо підтверджує можливість формування готовності до захисту Батьківщини на заняттях фізичного виховання через поєднання фізичної, психологічної, соціальної та духовної складових і про-

18 Дудорова Л., Бричук М., Смірнова З., Хуртик Д. Підготовка фахівців з фізичної культури і спорту до організації та проведення туристичної діяльності. *Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка*, 2025. № 31(187). С. 229-234. URL: <https://visnyk.chnpu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/887/935>

відних ідей козацької педагогіки¹⁹. Запропонована модель ґрунтується на *цілісності, послідовності та інтеграції* основних компонентів готовності. Її специфіка полягає у поєднанні сучасних педагогічних підходів із потенціалом української козацької педагогіки та національних засобів фізичного виховання.

Реалізація педагогічних умов розвитку готовності фахівців фізичної культури і спорту до захисту Батьківщини передбачає системне поєднання змісту професійної підготовки, фізичного виховання, національно-патріотичного виховання та практичної діяльності. Такий підхід відповідає сучасному розумінню фізичної культури в освіті як засобу розвитку не лише фізичних, а й розумових та психологічних здібностей особистості. Закон України «Про фізичну культуру і спорт» визначає серед завдань фізичної культури в освіті комплексний розвиток фізичних і розумових здібностей та вдосконалення фізичної і психологічної підготовки до активного життя й професійної діяльності²⁰.

Методика передбачає використання лекцій, семінарів, практичних занять, тренувань, майстер-класів, змагань, туристичних походів, козацьких вишколів та військово-патріотичних заходів. Їх поєднання забезпечує поступовий перехід від засвоєння теоретичних знань до практичного застосування сформованих компетентностей. Лекційні та семінарські заняття доцільно спрямовувати на формування знань про історію українського війська, козацьку педагогіку, національні бойові мистецтва, фізичну та психологічну підготовку, здоров'язбереження й громадянську відповідальність. Практичні заняття та тренування забезпечують розвиток фізичних якостей і прикладних рухових умінь. Змагання формують дисциплінованість, наполегливість, здатність діяти в умовах обмеженого часу та відповідальність за командний результат.

Особливу роль можуть відігравати козацькі вишколи, туристичні походи та майстер-класи, оскільки вони створюють умови для комплексного поєднання фізичної, морально-вольової, соціальної та культурної підготовки. При цьому військово-патріотичні заходи мають бути складовою системного освітнього процесу, а не набором окремих епізодичних ак-

19 Михальчук М. Формування у здобувачів освіти готовності до захисту Батьківщини на заняттях фізичного виховання провідними ідеями козацької педагогіки. *Гуманітарні студії. Історія та педагогіка*. 2024. 1(7). 90–103. URL: <https://gsip.wunu.edu.ua/index.php/gsipua/article/view/197>

20 Про фізичну культуру і спорт : Закон України від 24.12.1993 № 3808-XII. Верховна Рада України : офіц. сайт URL: https://data.rada.gov.ua/ogd/zak/perv/text/d20375.htm?utm_source=chatgpt.com

цій. Такий принцип відповідає підходам МОН України, яке визначає національно-патріотичне виховання як комплексну, системну та цілеспрямовану діяльність²¹.

Ефективність запропонованих форм залежить від відповідного комплексу педагогічних методів. Основними з них визначено особистий приклад, вправління, моделювання ситуацій, змагання, переконання, наставництво та рефлексію. Особистий приклад викладача має особливе значення для формування дисциплінованості, відповідальності та культури здоров'я. Метод вправління забезпечує систематичне формування фізичних і практичних умінь.

Моделювання ситуацій дає можливість відпрацьовувати алгоритми поведінки в умовах підвищеної складності та невизначеності. Метод змагання стимулює активність і прагнення до самовдосконалення, тоді як переконання спрямоване на формування усвідомленої системи цінностей. Важливим доповненням є наставництво, яке забезпечує передачу досвіду від викладача, тренера, ветерана або іншого компетентного наставника до здобувача освіти. Рефлексія дає можливість студенту оцінити власні результати, визначити сильні й слабкі сторони та сформулювати індивідуальну програму подальшого самовдосконалення. Сучасні методичні рекомендації з національно-патріотичного виховання також орієнтують освітній процес на поєднання традиційних форм із активними та проєктними методами²². Важливою умовою реалізації моделі є міждисциплінарна інтеграція. Підготовка фахівця до захисту Батьківщини не повинна обмежуватися однією навчальною дисципліною. Вона має здійснюватися через взаємопов'язане вивчення теорії та методики фізичного виховання, спортивних дисциплін, національних бойових мистецтв, туризму, домедичної підготовки, психології, педагогіки, історії України та української культури. Така інтеграція дає змогу сформулювати цілісне розуміння готовності: 1) знання; 2) фізична спроможність; 3) практична дія; 4) психологічна стійкість; 5) командна взаємодія; 6) відповідальна поведінка. Дослідження Т. Чопик щодо професійної підготовки майбутніх фахівців фізичної культури і спорту також ак-

21 Міністерство освіти і науки України. Національно-патріотичне виховання : офіц. сайт. URL: https://mon.gov.ua/osvita-2/pozashkilna-osvita/vikhovna-robota-ta-zakhist-prav-ditini/natsionalno-patriotichne-vikhovannya?print&utm_source=chatgpt.com

22 Міністерство освіти і науки України Про затвердження методичних рекомендацій щодо організації діяльності центрів національно-патріотичного виховання : Наказ № 141 від 07.02. 2024. Верховна Рада України : офіц. сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0141729-24?utm_source=chatgpt.com#Text

центує на компетентнісному підході та необхідності використання сучасних освітніх технологій у ЗВО ²³.

Водночас інтеграція має передбачати не механічне додавання нових тем до навчальних дисциплін, а узгодження їхнього змісту навколо спільного результату – формування готовності особистості до відповідальної професійної, громадянської та захисної діяльності. Важливим нормативним орієнтиром у цьому напрямі є сучасне розуміння військово-патріотичного виховання, яке пов’язує патріотичну свідомість із моральними, психологічними, професійними та фізичними якостями ²⁴. Таким чином, методика реалізації педагогічних умов має будуватися на системності, практичній спрямованості, міждисциплінарності, особистісній активності здобувача освіти та послідовному переході від знань до практичної діяльності. Саме таке поєднання створює педагогічне середовище, у якому професійна підготовка фахівця фізичної культури і спорту доповнюється формуванням фізичної, морально-вольової, психологічної, соціальної та громадянської готовності до захисту України.

Проведене дослідження дозволило теоретично обґрунтувати педагогічні умови розвитку у фахівців фізичної культури і спорту готовності до захисту Батьківщини провідними ідеями козацької педагогіки. Встановлено, що така готовність є інтегративною характеристикою особистості, яка поєднує мотиваційно-ціннісну спрямованість, знання, фізичну підготовленість, морально-вольові та психологічні якості, практичні вміння і здатність до відповідальної взаємодії. Її формування має здійснюватися системно, у процесі професійної підготовки та виховної роботи у закладах вищої освіти. Доведено педагогічний потенціал провідних ідей козацької педагогіки - патріотизму, служіння Батьківщині, фізичного і морально-вольового загартування, взаємодопомоги, дисциплінованості, відповідальності та збереження національно-культурної спадщини. Їх інтеграція у професійну підготовку фахівців фізичної культури і спорту створює умови для поєднання фізичного, професійного, громадянського та національно-патріотичного виховання. Подібний комплексний підхід

23 Чопик Т. Педагогічні умови професійної підготовки майбутніх фахівців галузі фізичної культури та спорту у закладах вищої освіти. *Physical culture and sport: scientific perspective*. 2022. № 1. С. 36 - 41. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/items/f9ee0e54-275a-43c3-a0a9-aa2a42c21de4>

24 Про затвердження Концепції військово-патріотичного виховання в системі Міністерства оборони України : Наказ Міноборони України від 14.08.2024 № 554 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: rada.gov.ua.

підтверджується сучасними дослідженнями формування готовності здобувачів освіти до захисту Батьківщини засобами фізичного виховання та козацької педагогіки.

На основі результатів проведеного дослідження авторами рекомендується:

1. Інтегрувати провідні ідеї козацької педагогіки до змісту освітніх програм та робочих програм навчальних дисциплін фізкультурно-спортивного профілю з урахуванням їхнього різнобічного потенціалу.
2. Забезпечувати комплексність професійної підготовки шляхом органічного поєднання видів підготовки, спрямованих на формування інтегрованої готовності здобувачів вищої освіти до дій у складних і кризових ситуаціях.
3. Розширювати використання практико-орієнтованих форм і методів навчання, що забезпечують набуття практичного досвіду, розвиток фізичної витривалості, морально-вольових якостей і навичок командної взаємодії.
4. Посилювати міжінституційну взаємодію закладів вищої освіти зі спортивними федераціями, ветеранськими та громадськими організаціями з метою створення додаткового освітньо-виховного середовища, розширення практичного компонента підготовки та залучення фахівців-практиків до освітнього процесу.
5. Запроваджувати системний моніторинг рівнів сформованості готовності здобувачів вищої освіти до захисту Батьківщини на основі визначених критеріїв, показників і рівнів, що дасть змогу своєчасно виявляти динаміку її розвитку, коригувати зміст і методи педагогічного впливу та забезпечувати подальше науково-методичне вдосконалення відповідної системи професійної підготовки.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-176-189

Political and legal sciences



Vira TYMOSHENKO,
Doctor of Law, professor,
Honored Worker of
Science and Technology of Ukraine,
National Academy of Internal Affairs
ORCID iD: 0000-0003-2947-5627
Kyiv, Ukraine

SOCIO-HUMANITARIAN FOUNDATIONS OF FORENSIC IDENTIFICATION OF INDIVIDUALS BASED ON BIOMETRIC DATA

The modern world cannot be imagined without changes in value systems and ideology, transformations of social institutions, new models and forms of public administration, as well as previously unprecedented technologies and digitalization. Technologies for personal identification based on biometric data have emerged as part of a field of knowledge that studies the application of mathematical statistics, medical informatics, and computer technologies in biology and medicine. Forensic examination and forensic science extensively employ the results of research in the field of biometrics for their respective purposes. With the development of computer technologies and advances in artificial intelligence, biometrics has increasingly incorporated digital methods for identifying and recognizing individuals based on their physiological and behavioral characteristics. Thus, biometrics has become not only a scientific discipline but also a practical tool for personal identification. Personal identification based on biometric data can be defined as a process and method of establishing or verifying an individual's identity on the basis of their biometric profile by comparing this profile with a database for recognition or secure access. This process involves assessing a specific parameter that constitutes an inherent characteristic of the individual.

As is well known, the primary objectives of biometrics are personal identification and verification. While identification involves determining the identity of a particular individual by matching them against a specific person

within a group of individuals (a “one-to-many” comparison), verification involves comparing a particular individual with a person already registered in a database (a “one-to-one” comparison). Accordingly, biometric forensic identification can be regarded as the recognition of an individual based on their anatomical, physiological, and biological characteristics through identification or verification for the purpose of detecting and investigating criminal offenses.

The primary objects of biometric personal identification are an individual’s physiological (static) and behavioral (dynamic) characteristics. Static characteristics include facial geometry, in particular, the distance between the eyes and the nose; fingerprints (the unique pattern of papillary ridges); the iris or retina of the eye (the unique pattern of the eye); the venous network (the structure of veins in the palm or finger); DNA; and hand geometry (the shape and size of the hand). Dynamic characteristics include voice (intonation and timbre), gait (individual characteristics of human movement), signature (the dynamics of pressure and writing speed), and typing patterns (the rhythm and speed of keystrokes, i.e., keyboard dynamics). These characteristics are encompassed by the respective sciences that, in general, study human beings, who, as is well known, are capable of committing criminal offenses, which constitute a social phenomenon. First and foremost, these include anthropology, anatomy, physiology, and psychology. These sciences constitute an important natural science foundation of forensic science. They help identify living individuals and human remains, examine traces at crime scenes, determine the causes of death, and perform other forensic tasks. Psychology plays a key role in forensic science, contributing to crime detection through an understanding of human behavior, thinking, and motives. Philosophy, as a humanities discipline, studies human beings, their spiritual world, values, the meaning of life, culture, and morality. At the same time, as a social science, philosophy analyzes society, social relations, history, the state, and the place of the individual within the social system.

Philosophy and forensic science are united by the fact that both disciplines study society. Crime and the fight against it, which are directly addressed by forensic science, are intrinsically connected with society. These two disciplines are also united by a humanistic approach. Forensic science occupies a leading position in the fight against crime. Through its specific means, techniques, and

methods, it focuses on the individual, as well as on human rights and interests. The social value of forensic science lies in the fact that it ensures the effective application of substantive criminal law.

Philosophy, in turn, studies the human being as a multidimensional, thinking, and spiritual-biological entity, focusing on human essence, the meaning of life, freedom, and humanity's place in the universe. This is accomplished through philosophical anthropology, which considers the human being as a subject of culture and activity. Philosophy and forensic science are connected through the use of general philosophical categories—such as matter, causality, and development—for the cognition of objective reality, including the mechanism by which a criminal offense is committed. Philosophy, particularly epistemology (the branch of philosophy concerned with the theory of knowledge), provides the methodological foundation of forensic science, contributing to the development of methods for the search, documentation, and examination of evidence based on the material nature of traces and the causal relationships between them. The author aims to examine the potential of all the aforementioned sciences for forensic identification.

1. Philosophical foundations of forensics and forensic identification of a person

The philosophy of forensic science, as an independent methodological discipline, emerged in the 1970s–1990s, when the theory and methodology of forensic research were developing rapidly. The foundation for the philosophical understanding of investigative methods was laid by the teachings of the Austrian jurist and founder of criminal psychology, Hans Gross (b. 1847 – d. 1915), on the foundations of forensic science, which explored the “realities of criminal law”. In 1893, he published the fundamental “Handbook for Examining Magistrates, Police Officials, Military Police”¹, in which he was the first to propose integrating disparate investigative methods into a unified scientific system and introduced the term “criminalistics”. H. Gross transformed criminal investigation from a purely logical level into a scientific and technical discipline by substantiating the use of the natural sciences—including chemistry, physics, biology, and others—in crime detection.

1 Gross, H. (1893). *Handbuch für Untersuchungsrichter, Polizeibeamte, Gendarmen u. s. w.* Leuschner & Lubensky. 620 p.: <https://books.google.com.ua/books?id=jcw1vwEACAAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>

The end of the twentieth century was marked by processes of convergence between philosophical and non-philosophical knowledge as a consequence of the impact of scientific and technological progress. In forensic science, this manifested itself in a growing interest in such philosophical categories as chance and necessity, cause and effect, among others. Forensic scientists began to make extensive use of the term “reflection”, yet they rarely considered the actual significance of this philosophical category for forensic science or its fundamental role both in theory and in the practical application of forensic concepts and recommendations.

A distinctive feature of the philosophy of forensic science is that its content consists of philosophical – that is, rational and scientific – cognition. Any forensic or interdisciplinary problems are examined from the standpoint of what ought to be, that is, by asking the questions “how should it be?” and “is it reasonable”? The philosophy of forensic science is based on theoretical-reflexive and spiritual-practical relations between the subject and the object. This discipline should examine how the general laws of nature, society, and thought manifest themselves within forensic science.

The philosophical foundations of forensic science encompass a complex, interdisciplinary network that combines the natural sciences (chemistry and biology) with logic, law, and history, focusing primarily on the reconstruction of past events through physical traces. Key principles within this network include the principle of transfer (Locard’s Exchange Principle), individualization, probabilistic reasoning, and the transition from subjective interpretation to standardized, validated, and ethically grounded evidence-based practices. In particular, the fundamental principle of forensic science formulated by Edmond Locard states: “Every contact leaves a trace”. According to this principle, whenever an offender interacts with a crime scene, an object, or a victim, an exchange of material evidence (particles, fibers, biological traces) inevitably occurs. It can be argued that, within forensic science, primary attention is given to how disciplines such as chemistry, biology, computer science, geology, and others can contribute to the use of evidence within the criminal justice system². At the same time, the philosophical foundation of forensic science constitutes the basis of its underlying ideas. It is shaped by

2 Morgan, R. M. (2019). Forensic science. The importance of identity in theory and practice. *Forensic Science International: Synergy*, 1, 240. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2019.09.001>

and remains influenced by a range of different disciplines, research models, and forms of validating assumptions concerning truth, all of which have played a crucial role in the development of this field³.

Forensic science as a discipline does not contain within itself criteria for assessing the social significance of its own findings. It is precisely the philosophy of forensic science that should make forensic science as an integrated whole, in its anthropogenic and axiological dimensions, the subject of its analysis. Philosophical and forensic studies should contribute to the development of the self-awareness and reflexivity of forensic science, foster its understanding of its own capabilities and prospects, and provide guidelines for its further development. An understanding of twenty-first-century forensic science, its challenges, and ways of addressing them is impossible without a philosophical examination of its system-forming concepts and the classification of its categories.

Key aspects of the integration of philosophy and forensic science: if forensic science is based on the philosophical proposition that every event leaves traces (material and ideal), philosophy helps to understand how information about a crime is reflected in the surrounding environment; the philosophical understanding of causality enables forensic scientists to identify the relationship between the actions of an offender and the consequences (traces) that arise from them; philosophy provides general methods (logic, analysis, synthesis, induction, and deduction) that are adapted by forensic science to the examination of evidence; the philosophical postulate concerning the uniqueness of every material object underlies forensic identification, including the identification of a specific individual or instrument used to commit a crime.

The philosophy of forensic personal identification also has its own specific features, being based on the dialectical doctrine of identity⁴. The dialectics of identity is largely rooted in Hegelian philosophy and focuses on the tension between identity, difference, and self-consciousness⁵. The forensic examination process (in this case, the identification procedure) is based on

3 Houck, M. M. (2026). The architecture of forensic knowledge: Ontology, transformation, and capture. *Forensic Science International: Synergy*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2026.100662>

4 Văduva, I. (2024). Hierarchies of the dialectic: Hegel on identity and difference. *Filozofija i društvo*. 35(2), 280. <https://doi.org/10.2298/FID2402276V>

5 Gedifew, B. T. (2020). Self-other dialectic, Hegel, and the contemporary theory of «the politics of recognition». *Skhid*, 5(169), 10. [https://doi.org/10.21847/1728-9343.2020.5\(169\).211583](https://doi.org/10.21847/1728-9343.2020.5(169).211583)

the dialectical method of cognition, whereby an expert proceeds through the stages of observation and separate examination, followed by comparison and conclusion, establishing the truth through material representations. The philosophy of personal identification, in turn, examines what makes a person a continuous and unique individual, addressing issues of persistence over time, continuity, and development. Personal identity is closely related to individual identity, which focuses on self-awareness and internal characteristics. It encompasses an individual's personality, memories, and unique biological markers, such as the face and voice. This constitutes an authentic identity that remains unchanged regardless of the surrounding environment⁶. Key theories include Locke's theory of psychological continuity (memory)⁷, physical continuity (bodily identity), and the narrative "self", which views identity as a constructed life story. The seventeenth-century English philosopher John Locke laid the foundations for the modern understanding of personal identity by proposing a theory according to which psychological continuity, sustained by memory, constitutes the criterion of personal identity over time. As is well known, every individual is materially unique and remains stable in their essential characteristics over a certain period of time. This principle is applied in establishing individual identity through representations (traces), making it possible to move from the recognition of specific characteristics to a conclusion concerning a particular individual.

The philosophy of personal identification in forensic science focuses on the scientific, logical, and ethical principles underlying the attribution of physical evidence (DNA, fingerprints, and traces) to a single, unique source. It involves a shift from subjective, absolute assertions concerning "individualization" toward probabilistic interpretations that recognize, minimize, and manage potential cognitive biases and uncertainty in the evaluation of evidence.

In contemporary philosophy, personal identity is understood as a dialectical unity of inner essence and coherence with the external world. Accordingly, personal identification based on biometric data (fingerprints, facial features, DNA) is viewed as a transition from a social and conscious understanding of the "self"

6 Sanchez, J. M. (2026). What is personal identity, characteristics, types, and how it is built. *Veridas*. <https://veridas.com/en/what-is-personal-identity/>

7 Afroza, N. (2023). John Locke on personal identity: Memory, consciousness and concernment. *Open Access Library Journal*, 10, 1-21. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1110949>

to a “digital body”, in which unique physiological characteristics become an absolute identifier. This raises philosophical questions concerning the ontological status of the human being, confidentiality, the loss of privacy, and the risk of reducing a unique individual to a set of data.

Thus, the key philosophical and forensic aspects of biometric identification are as follows: identification establishes the stability of characteristics that make it possible to distinguish one individual from another (dialectical identity); philosophy provides a rationale for the proposition that there are no two absolutely identical individuals in the material world, which makes it possible to establish the identity of traces (fingerprints, DNA, handwriting); the identification mechanism is based on the principle that any interaction leaves traces (reflections) that contain information about the object being identified; philosophy distinguishes between establishing group affiliation (diagnosis—class or type) and individual identification (identification—a specific individual); and identification is regarded not only as a technical procedure but also as a legal act (within criminal proceedings) or an investigative measure.

When identifying individuals based on biometric data, the following philosophical principles are applied:

1. Individualization versus association: Traditional forensic philosophy has often sought absolute individualization, that is, linking a trace to a single individual. Contemporary philosophy recognizes the limitations of this approach and shifts toward “source attribution” or the assessment of the probability of a match⁸.
2. The Bayesian approach: This approach provides a unified mathematical framework for understanding cognition as a process of solving inductive problems, integrating concepts of cognitive representations and learning mechanisms. A central element of this approach is Bayes’ theorem, which defines the mechanism for updating prior beliefs (in the form of posterior probabilities) on the basis of new empirical evidence⁹. Bayes’ theorem is named after its author, Thomas Bayes (b. 1702– d. 1761), an English mathematician and clergyman who was the first to propose the use of the theorem to revise beliefs based on updated data. Bayesian reasoning takes into

8 Biedermann, A. (2022). The strange persistence of (source) “identification” claims in forensic literature through descriptivism, diagnosticism and machinism. *Forensic Science International: Synergy*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.fsisy.2022.100222>

9 Kolesnyk, V. V. (2025). Bayesian approach as a model of cognitive processes. *Habitus*, 72, 47. https://habitus.od.ua/journals/2025/72-2025/part_1/9.pdf

account both the probability of finding the evidence if the suspect is the source and the probability that someone else is the source.

3. The identity of indiscernibles (Leibniz's Law): If two objects have identical properties, they are one and the same object. In other words, no two distinct entities can possess exactly the same internal and external properties¹⁰.
4. Context and bias management: A critical aspect is recognizing that forensic experts are not immune to bias, and that evidence should be interpreted within the context of the case without presuming guilt.

All of this demonstrates the direct relationship between philosophy and forensic science.

2. Application of Advances in Anthropology, Anatomy, and Physiology in Forensic Science

The achievements of anthropology are also applied in the process of personal identification. In anthropology, personal identification is the process of establishing the identity of a specific individual or their remains based on biometric data and an analysis of biosocial characteristics. Such identification is based on unique physiological characteristics (fingerprints, facial features, and veins) and behavioral characteristics (voice, handwriting, and gait), which are used to establish or verify an individual's identity. This makes it possible to accurately compare data against databases (1:N) or verify a claimed identity (1:1), an approach that is actively used not only in forensic science but also in personal security systems and digital technologies. The methods range from physical anthropology (osteology and craniometry) to social identification, which determines an individual's self-awareness through cultural and social markers, selfhood, and the self-concept.

First and foremost, the use of anthropology in forensic science (forensic anthropology) makes it possible to identify individuals from skeletal remains and to determine sex, age, stature, and ethnic affiliation. Various identification methods based on the application of anthropology and morphology in forensic science exist, including methods employing artificial intelligence technologies¹¹. These methods include facial reconstruction from the skull (the Gera-

10 Gonzalo, R. P. (2025, June 4). The identity of indiscernibles. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/identity-indiscernibles/>

11 Prakash, A. B.V., Sriharsha, B. S. Prasad, Supriya, B. N., & Ravi, K. S. (2024). Anthropology and Morphology-Based Facial Image Analysis to Support Criminal Investigation in Forensics. *International Journal of Applied Science and Research*, 7(5), 177-188. <https://doi.org/10.56293/IJASR.2024.6123>

simov method)¹² and the analysis of marks and lesions on bones, which helps establish the circumstances of death. This is a scientific method of anthropological reconstruction that makes it possible to recreate an individual's facial appearance during life on the basis of the skull. Developed by M. M. Gerasimov (b. 1907– d. 1970), the method combines anatomy, osteology, and sculpture and is based on measuring the thickness of soft tissues at anatomical landmarks. It is used in forensic science and historical research for facial reconstruction. Forensic identification is generally conducted as a process of classification, feature identification, and comparison.

Anthropologists contribute to identification at two levels. The first level comprises methods that establish positive identification. The second level includes methods that assist in identification by limiting the number of potential matches for the individual under examination. The first level includes comparative radiography and the comparison of surgical implants, while the second level includes craniofacial superimposition, biological profiling, and medical records – including dental records, anomalies, and pathological conditions – as well as comparative photography. While identification based on surgical implants may simply involve locating the manufacturer's mark together with the unique serial number of the device, the remaining methods are considerably more complex to apply¹³.

The main areas of application of anthropology in forensic science include: personal identification (determining sex, age, stature, ancestry, and individual characteristics from skeletal remains); facial reconstruction (reconstructing an individual's appearance during life from the skull, which is critical for recognition); osteology and trauma analysis (examining bone injuries to determine the cause of death, such as blunt-force trauma, gunshot wounds, and cuts, as well as estimating the postmortem interval and burial history); and criminal anthropology (the study of the psychophysiological characteristics of offenders).

Forensic anthropology works in close cooperation with archaeology to ensure the proper recovery and documentation of remains at their location. Identification faces both subjective obstacles (human error and incompetence) and

12 Ullrich, H., & Stephan, C. N. (2016). Mikhail Mikhaylovich Gerasimov's authentic approach to plastic facial reconstruction. *Anthropologie*, 54(2), 97–107. https://www.researchgate.net/publication/306067138_Mikhail_Mikhaylovich_Gerasimov's_Authentic_Approach_to_Plastic_Facial_Reconstruction

13 Mesejo, P., Martos, R., Novo, J., & Ortega, M. (2020). A survey on artificial intelligence techniques for biomedical image analysis in skeleton-based forensic human identification. *Applied Sciences*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/app10144703>

objective obstacles (the quality of evidence and environmental factors). Biometric data makes it possible to establish the identity of offenders, unidentified deceased persons, and missing persons, while being integrated into modern security systems and investigative procedures.

The main methods of identification include: osteological analysis (determining sex, age, stature, and ancestry from skeletal remains); craniometry (describing facial features from the skull and comparing them with photographs taken during life); dental assessment (analyzing unique age-related, congenital, and acquired characteristics of the teeth); fingerprint analysis and molecular genetic examination (methods of identification based on fingerprints or DNA).

Facial morphology plays a crucial role in forensic identification and anthropological research. Facial dimensions have traditionally been measured using a landmark-based approach. The following facial landmarks were identified and used for measurements: upper facial height; lower facial height; intercanthal distance (the horizontal distance between the inner corners of the eyes); and facial width¹⁴. Recent advances in 3D imaging technologies, such as structured-light scanning, enable highly accurate and reliable measurements of facial dimensions. These advances have improved the accuracy of facial reconstruction and identification, offering a more robust alternative to traditional two-dimensional (2D) methods. The integration of 3D facial data into forensic applications is particularly important when considering ethnic variation in facial structures¹⁵. Although facial measurements have traditionally been limited to physical anthropometry, there is growing interest in using these data in combination with artificial intelligence (AI) and machine learning methods. Recent advances in AI-based systems have highlighted the need for high-quality, diverse facial datasets to improve biometric applications¹⁶. This underscores the need to develop comprehensive 3D facial databases representing diverse ethnic groups in order to enhance the accuracy and reliability of these technologies.

14 Das, S. R., Champatray, S., & Panda, D. (2025). Anthropometric analysis of facial dimensions using 3D imaging for forensic identification and ethnicity-specific reference models. *Forensic Science International Reports*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2025.100428>

15 Weinberg, S., Raffensperger, Z. D., & Marazita, M. L. (2016). The 3D facial norms database: Part 1. A web-based craniofacial anthropometric and image repository for the clinical and research community. *The Cleft Palate Craniofacial Journal*, 53(6). <https://doi.org/10.1597/15-199>

16 Packiriswamy, V., Kumar, P., & Bashour, M. (2018). Anthropometric and anthroposcopic analysis of periorbital features in Malaysian population: An inter-racial study. *Facial Plastic Surgery*, 34(4). <https://doi.org/10.1055/s-0038-1648224>

In 2003, the European Association for Forensic Anthropology (FASE) was established. The objectives of FASE are to promote education and professional development, improve professional practice, establish and raise standards, and advance the science of forensic anthropology (FA) and related disciplines. In addition, FASE aims to support knowledge and research in this field by harmonizing methods and diagnostic procedures across Europe¹⁷. FASE brings together anthropologists, forensic pathologists, forensic odontologists, geneticists, and other experts in the field of forensic medicine with the aim of promoting the scientific and academic development of the discipline of forensic anthropology.

Forensic anthropology, initially defined as the application of physical anthropology (now referred to as biological anthropology) to the legal process, currently encompasses a wide range of research areas, including trauma analysis, archaeology, isotopic analysis, and crime scene documentation, aimed at identifying human remains and assisting in criminal investigations. The discipline is rapidly evolving, partly due to the increasing number of individual forensic cases, mass disasters, and war-related crimes that require expertise in the recovery, detection, identification, and forensic examination of severely decomposed, burned, and skeletonized human remains¹⁸.

Due to differences in jurisdiction, the training and responsibilities of forensic anthropologists may vary across countries. Some examples of the issues that forensic anthropologists may encounter include: determining whether skeletal remains are human or non-human; estimating the postmortem interval of human remains; establishing a biological profile of unidentified human remains (including sex, age, ancestry, stature, and skeletal pathology); facial reconstruction; comparative analysis for identification; identification of living individuals; age assessment of unaccompanied minors, such as refugees; analysis of skeletal trauma; the recovery and identification of victims of mass disasters; and the detection, identification, and analysis of victims of alleged war crimes or torture.

As can be seen, forensic science draws upon knowledge of both anatomy and physiology. While anatomy focuses on structure (the skeletal, nervous, and

17 De Boer, H. H., Obertová, Z., Cunha, E., Adalian, P., Baccino, E., Fracasso, T., Kranioti, E., Lefèvre, P., Lynnerup, N., Petaros, A., Ross, A., Steyn, M., & Cattaneo, C. (2020). Strengthening the role of forensic anthropology in personal identification: Position statement by the Board of the Forensic Anthropology Society of Europe (FASE). *Forensic Science International*, 315. <https://doi.org/10.1016/j.forsci-int.2020.110456>

18 FASE. (2018). *About FASE*. <https://forensicanthropology.eu/about-fase/> (Accessed 07.08.2026)

muscular systems), physiology focuses on function (respiration, blood circulation, metabolism, and movement). Anatomy studies the «form» of the organism, whereas physiology studies its «function», with the two disciplines being inextricably interconnected.

The main areas in which anatomy and physiology are applied in forensic science can be identified as follows. Habitoscopy involves the use of anatomical characteristics, such as height, skull shape, and facial features, to create a “verbal portrait” and identify individuals. Anthropometry involves measuring body parts of suspects for personal identification. Dactyloscopy is based on the examination of friction ridge patterns, which remain unchanged throughout a person’s lifetime. Osteology makes it possible to determine an individual’s sex, age, and stature from skeletal remains when such information is required for identification. An individual can also be identified through the analysis of physiological characteristics of their movement, obtained from surveillance camera recordings. Finally, knowledge of physiology underlies the analysis of biological traces, including hair, blood, and saliva, as well as the examination of the body’s response to poisons and mechanical injuries. Physiological processes occurring after death, such as livor mortis and rigor mortis, can also be analyzed to estimate the time of death.

Psychophysiology is also applied, making it possible to assess the reliability of statements, for example, by examining the relationship between autonomic signals (pulse, sweating, and respiratory rate) and psychological responses.

3. The role of psychology in forensic identification

The use of psychology in forensic identification is aimed at establishing the identity of an offender through the analysis of behavioral traces, psychological characteristics, and motives. The development of criminal profiles, the conduct of interrogations, the assessment of the credibility of testimony, and the provision of support to victims can contribute to solving crimes. Psychologists analyze motives, behavior, and personality characteristics to narrow down the pool of suspects, thereby facilitating informed decision-making¹⁹. Psychological methods make it possible to narrow down the pool of suspects and determine their probable characteristics.

19 Pandya, V. V. (2025). The interconnection of psychology and forensic science: Answers from literature review. *International Journal of Research in Interdisciplinary Studies*, 3(9), 89. https://www.researchgate.net/publication/396136285_The_Interconnection_of_Psychology_and_Forensic_Science_Answers_from_Literature_Review

Among the main areas in which psychology is applied in forensic science, the first to be mentioned is the creation of a psychological profile of an offender based on an analysis of their actions, the crime scene, and the nature of the injuries²⁰. This is known as profiling. In this context, the causes of the crime are sought within the offender's personality, while external circumstances are regarded as conditions that either facilitate or impede the commission of an offense.

Another important area is the analysis of *modus operandi* (MO), which involves the systematic study of an offender's functional methods and patterns of behavior, including the time, location, and techniques used to commit crimes. MO is important for linking serial cases, predicting behavior, and identifying suspects²¹. Forensic psycholinguistics is also used, specifically the analysis of written or spoken language to establish the psychological characteristics of its author²². In addition, the emotional maturity and impulsivity of an offender may be assessed to determine the psychological mechanism underlying the crime and the potential risk of recidivism²³. The use of the polygraph is also relevant, as it involves the application of psychophysiological methods to verify statements and assist in the identification of suspects²⁴.

In particular, the development of a psychological and forensic profile should be regarded specifically as a forensic methodology that draws upon knowledge from psychology, psychiatry, forensic medicine, and other fields for the purposes of crime detection and investigation.

In particular, the development of a psychological and forensic profile should be regarded specifically as a forensic methodology that draws upon knowledge from psychology, psychiatry, forensic medicine, and other fields for the purposes of crime detection and investigation. This methodology involves several sequential stages. The first stage is the assessment by a foren-

20 Pototskyi, M., & Hrankina, V. (2025). Psychological profile of an unknown criminal: some features of the application. *Ukrainian polyceistics theory, legislation, practice*, 2(14), p. 91. <https://doi.org/10.32782/2709-9261-2025-2-14-16>

21 Bjelajac, Ž. (2025). Modus operandi as an analytical tool in criminal profiling. *Pravo - teorija i praksa*, 42(4), 25-34. https://www.researchgate.net/publication/399191728_Modus_operandi_as_an_analytical_tool_in_criminal_profiling

22 Rasheed, N. J. (2020). Forensic psycholinguistics: using language analysis for identifying and assessing offenders. *International Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 10(1), 392-398. <https://doi.org/10.37648/ijrssh.v10i01.040>

23 De Roo, R. H. D., De Gruijter, M., De Poot, Ch. J., Limborgh, & Van den Hoven, P. (2022). The added value of behavioural information in crime scene investigations. *Forensic Science International: Synergy*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.fsism.2022.100290>

24 Vuima, A. H., & Zlotnyk, V. O. (2025). The Application of Polygraph Test Results in the Evidence Process. *Bulletin of Kharkiv National University of Internal Affairs*, 111(4), 287-293. <https://doi.org/10.32631/v.2025.4.22>

sic investigator of the materials of a criminal case and the preparation, based on these materials, of a summary concerning the victim, the circumstances of the crime, and the method by which it was committed. The next stage involves establishing the individual psychological characteristics of the offender, including their motivational and behavioral patterns, age, education, social status, and other relevant characteristics. Next, the possible psychotype of the offender, pathological personality traits, and the motivation underlying the choice of victim or the methods used to commit the crime are determined. At the next stage, when necessary, a psychological and forensic profile of the individual may be developed based on their behavior and their account of past events. At this stage, a biology specialist may be involved to assess both verbal and non-verbal manifestations of the suspect's personality, for example, those characteristic of an individual when attempting to deceive, or a linguistics specialist may be involved when the analysis of texts is required. The final stage involves specialists, under the supervision of a forensic specialist, developing an integrated psychological and forensic profile of the offender and preparing recommendations for operational personnel²⁵.

Usually, such stages are based on circumstances that are relevant to the investigation. First and foremost, these include the offender's appearance and physical characteristics. If the victim did not see the offender, or saw them but is unable to provide testimony, information may be obtained from other sources; for example, by comparing the victim's height with the injuries inflicted by the offender, or assessing the characteristics of the injuries, such as the force of a blow, or examining biological traces (blood drops, hair, etc.). Based on an analysis of the circumstances and methods of the crime, the offender's cognitive abilities are also assessed, including their capacity for learning, reasoning, and comprehension. The offender's education and affiliation with a particular social group are also taken into account. These characteristics can sometimes be determined from the manner in which the crime was committed and from items belonging to the offender that were left at the crime scene. The offender's place of residence and occupation may also be established, which can narrow the pool of suspects and play a decisive role in solving the crime. One of the most typical associations is between the of-

²⁵ Ai, M. (2024). *Criminal psychology*. In *The ECPH encyclopedia of psychology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6000-2_287-1

fender's knowledge of the area and the locations where crimes are committed or traces of the crimes are concealed. Information about places where the offender spends time can also be obtained from knowledge of their hobbies and interests. All of the above factors influence both the offender's choice of victim and the tactics used to search for and apprehend them.

To prevent unlawful behavior, it is important to understand the psychological mechanisms underlying criminal behavior in a clinical context. Antisocial individuals often have difficulty associating fear with negative stimuli, which reduces their ability to learn from punishment. This suggests impaired fear conditioning. Offenders, particularly those exhibiting psychopathic traits, often demonstrate a low resting heart rate and reduced skin conductance activity. This "fearlessness" theory suggests that they are less sensitive to the threat of punishment because they have a low level of autonomic arousal²⁶.

In an article by Ukrainian criminologist Z. Ya. Kovalchuk²⁷, based on the results of a polygraph examination, it is argued that individuals involved in criminal activity are characterized by emotional instability, manifested in mood fluctuations, heightened excitability, and irritability. This indicates insufficient development of the regulatory component. Such individuals may exhibit disturbances in cardiac activity and respiration. They may also experience a diminished capacity for emotional experiences and feelings. These individuals tend to display the most basic emotional responses and express only those feelings directed toward satisfying fundamental instincts. They tend to avoid responsibility and problems rather than seek solutions to them.

However, despite the scientific and technological potential of the polygraph, its results are probabilistic in nature and cannot be regarded as incontrovertible evidence without compliance with strict procedural requirements. The use of polygraph examination results as evidence is possible only if the procedural requirements established by law are observed. Only on the basis of the verification and comprehensive assessment of the evidence, including an evaluation of its reliability, may polygraph results contribute to the formation of a well-founded

26 Venables, P. H. (1988). Psychophysiology and crime: Theory and data. In T. E. Moffitt, & S. A. Mednick (Eds.), *Biological contributions to crime causation* (NATO ASI Series. Vol. 40). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2768-1_1

27 Kovalchuk, Z. (2022). Socio-psychological features of the suspect's personal profile during the polygraph examination. *Bulletin of the V. N. Karazin Kharkiv National University. Series «Psychology»*. 73, 88-89. <https://doi.org/10.26565/2225-7756-2022-73-10>

position of the prosecution or defense, as well as to the adoption for a fair and lawful judicial decision.

Thus, the significance of forensic identification lies in the scientifically substantiated establishment of a correspondence between a specific object (a person or an item) and the traces associated with it, making it possible to establish a direct link between the crime and the offender. It provides reliable evidence for solving crimes by confirming that the suspect is indeed the person who committed the crime and that a particular trace was left by that specific object or individual rather than by another. The results of identification, usually obtained through forensic examination, constitute important evidence in criminal proceedings and may confirm the guilt or innocence of an individual.

Philosophy is the fundamental methodological foundation of forensic science. It provides the principles of cognition, determines the logic of investigation, and explains the nature of crimes, thereby ensuring the scientific validity of evidence and the effectiveness of law enforcement agencies. Philosophy provides the theoretical foundation of forensic identification, supplying it with a methodology for establishing objective truth. Philosophical techniques and methods, particularly analysis, synthesis, induction, and deduction, permeate the entire investigative process, making it possible to move from a mental representation and description to physical evidence and the establishment of the truth. Basic philosophical categories determine how investigators and experts establish the involvement of a specific object (a person, weapon, or vehicle) in the crime under investigation. Forensic science is based on the laws of dialectics. The investigator proceeds from the reflection of the crime in the material environment (traces) to the development of investigative hypotheses, their verification, and the establishment of objective truth.

Anthropology plays a key role in forensic identification, making it possible to reconstruct crime scenes, establish the biological profile of unidentified individuals, determine the origin of skeletal remains, and conduct facial and portrait examinations even when traditional forensic methods, such as DNA analysis or fingerprinting, are unavailable. It is a fundamental interdisciplinary field that provides an evidentiary basis for the investigation of crimes and disasters. The anthropological approach, based on knowledge of anatomy and physiology, elevates forensic examination to a qualitatively new level, enabling

the accurate identification of individuals in the most complex and challenging investigative situations. Human anatomy and physiology provide the scientific foundation for personal identification, analysis of the mechanisms of crime, and the performance of forensic examinations. Criminal anthropology has even attempted to explain and establish a relationship between an individual's anatomical and physiological characteristics and their moral qualities. This knowledge is applied to the study of physical appearance, dynamic characteristics, and biological traces.

Psychology in forensic science involves the application of psychological knowledge and methods to the detection and investigation of crimes. Psychology contributes to the study of the offender's personality and motives, the examination of the role of personal and situational factors in criminal behavior, and the analysis of crime-scene evidence from a behavioral perspective. It also assists in developing a psychological profile to facilitate the apprehension of an offender. Knowledge of psychology helps assess the reliability of testimony, analyze memory mechanisms, develop psychological profiles, and adapt interrogation tactics, all of which are critically important for establishing the identity of an offender and analyzing evidence. Psychology is also essential for studying the consequences of criminal behavior for the offender, the victim, and society as a whole, as well as for examining the possibility of modifying criminal attitudes.

Thus, the achievements of the social sciences and humanities are applied in forensic science in the course of traditional forensic examinations based on the comparison method and a detailed analysis of the characteristics of individuals and objects. They are also employed in identification based on a mental image (an ideal representation or memory trace) and in the automated recognition of individuals according to their anatomical, physiological, and psychological characteristics. This significantly contributes to establishing the identity of a suspect, as well as to the investigation and detection of criminal offenses. Modern high-tech biometric methods are adopted by forensic science exclusively for the purpose of establishing the individual identity of a particular person or other living being.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-190-206



Technical sciences

Oleksandr NOVOSELTSEV,
PhD student,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0009-0005-3152-1794
Ukraine

RELIEF TEXTURING METHODS BASED ON REPRESENTING FREE SPACE WITH GEOMETRIC PRIMITIVES IN TWO-DIMENSIONAL TEXTURES

A brick wall is geometrically simple at the scale of a building but complex at the scale of its mortar joints. Modelling every groove with triangles increases geometry storage and processing. A colour texture supplies appearance without this geometry, while a normal map changes the direction used for lighting. Neither operation alone establishes which point inside a groove is visible from an oblique viewpoint. Relief texturing addresses this visibility problem by evaluating a virtual surface inside a thin layer associated with a coarse polygonal mesh.

The central operation is the search for the first intersection of a viewing ray with that virtual surface. Its texture coordinates determine the colour and normal sampled for the pixel. Consequently, a small error in the intersection can move an entire visible feature, producing sliding, unstable edges or missing detail. The difficulty becomes particularly apparent at grazing angles, where a ray travels a long distance across the texture before descending through the relief layer.

A useful way to reduce this search is to describe where the surface cannot occur. A texture can store the parameters of simple geometric regions above its height samples. The renderer then skips these regions instead of inspecting many closely spaced points. This contribution examines the geometric idea behind such representations, their development from cone step mapping to recent robustness corrections, and the remaining problem of accurately locating a hit after rapid traversal. The emphasis is on compact two-dimensional data and understandable geometric reasoning.

In a basic implementation, the mesh still controls the object silhouette: the apparent interior relief does not create new triangles. This makes the approach particularly suitable for detail within visible surfaces, while silhouette changes require additional treatment.

A height map stores one value per texture coordinate pair. Here, $h(u, v)$ denotes height: $h = 0$ is the base and $h = 1$ the top of the relief layer. The virtual solid lies below this graph. A single height field cannot represent arbitrary overhangs or multiple layers at the same (u, v) .

The ray is expressed in a local texture-space frame aligned with the tangent, bitangent and outward normal. Coordinates and direction incorporate the conversion from physical lengths to texture coordinates and relief height. For a descending ray ($q_z < 0$), the first visible hit satisfies

$$p(t) = (u_0, v_0, z_0) + t(q_u, q_v, q_z), \quad z(t_*) = h(u(t_*), v(t_*)). \quad (1)$$

Here $z_0 = 1$, $t \geq 0$, and t is the smallest admissible intersection parameter. Figure 1 shows why the original polygon sample and the visible relief point usually have different texture coordinates.

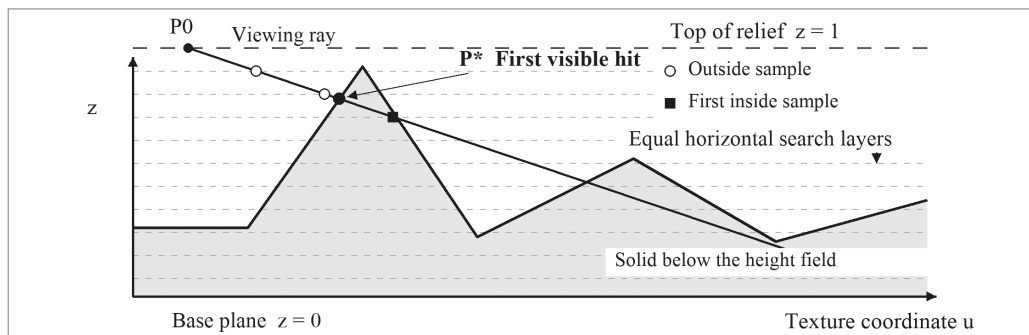


Figure 1. Horizontal search layers and ray samples around the first hit.

All figures are original explanatory schematics.

Horizontal layers define equally spaced ray samples without quantising the surface. Short steps increase texture reads; long steps may cross a narrow ridge between tests. Refining the last two samples then cannot recover the missed ridge. The search needs information about the unsampled interval, not merely a more accurate calculation at its endpoints.

Dummer's cone step mapping (CSM), published in 2006, encodes this information as cones attached to surface texels.¹ A conservative cone has an

1 Dummer, J. (2006). *Cone step mapping: An iterative ray-heightfield intersection algorithm* [Technical report]. <http://www.lonesock.net/files/ConeStepMapping.pdf> (archived text).

interior that does not enter the virtual solid. Intersecting the ray with the cone boundary supplies a geometrically justified advance through empty space.

The cone apex is placed on the height field, and the cone opens upward. Nearby high features constrain its opening: a wider cone would penetrate those features. The value stored in a texel describes this opening, rather than a fixed step length. With a radius-to-height convention, the essential relation is

$$r = c \Delta z, \quad \Delta z = z - h(u, v) \geq 0, \quad (2)$$

where c is the cone ratio and r is its horizontal radius at height z . Horizontal distance and vertical height must use the same scaling convention as the preprocessing. For example, a ratio of 0.5 gives a radius of 0.1 at a vertical gap of 0.2, in the chosen normalised units. The ray direction determines the actual advance. Figure 2 illustrates this representation.

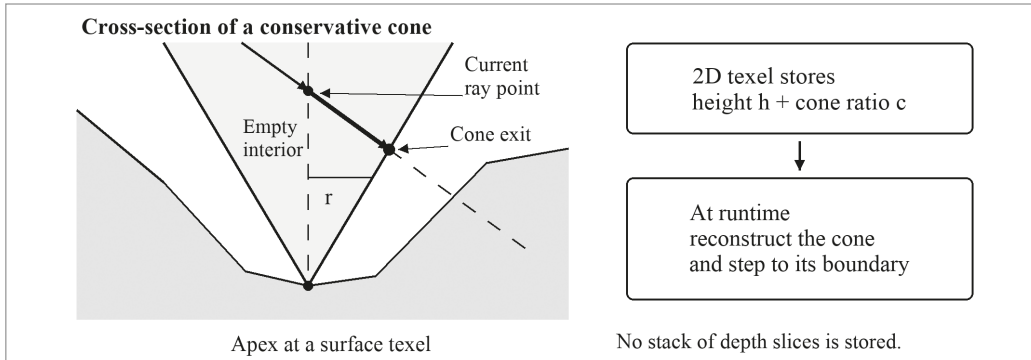


Figure 2. A surface texel encodes a three-dimensional cone using two-dimensional texture data.

At the current ray position, the shader reads the underlying height and cone parameter, advances to the cone boundary, and repeats. The cone is an acceleration region, not a replacement for the height field. Its boundary can lie well above the actual surface. Even valid conservative cones can produce increasingly short steps near a hit; stopping after a fixed iteration budget may leave the computed point outside the relief.

Policarpo and Oliveira introduced relaxed cone stepping in 2007.² Its wider cones allow a crossing, with the intended restriction of at most one surface crossing inside the relevant region. An outside–inside interval can then be refined by binary search. Such a cone is not wholly empty: its usefulness depends on controlling crossings rather than excluding all contact with the surface.

² Policarpo, F., & Oliveira, M. M. (2007). *Relaxed cone stepping for relief mapping*. In H. Nguyen (Ed.), *GPU Gems, 3* (pp. 409–428). Addison-Wesley.

The geometric representation subsequently broadened beyond a single circular cone. Baboud, Eisemann and Seidel developed a general framework of precomputed safety shapes, including a cylinder–cone construction, in 2012.³ Their central condition prevents a ray from crossing the surface twice inside a safety shape. This distinguishes the general safety property from the stricter notion of entirely empty space.

Preprocessing cost also matters. Valasek and Bán's 2022 method uses a maximum-height mip hierarchy to build conservative cone maps efficiently, replacing exhaustive comparisons between all texel pairs with a hierarchy-based search.⁴ Figure 3 outlines these selected developments.

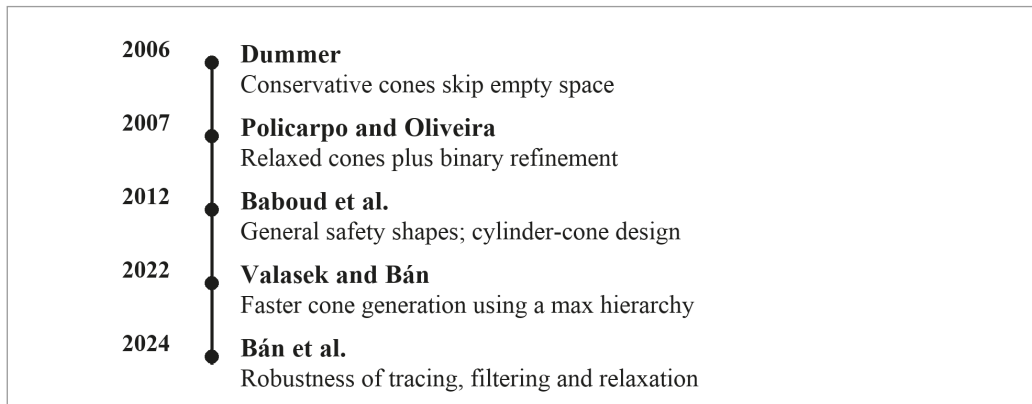


Figure 3. Selected milestones in compact cone and safety-shape representations, 2006–2024.

Robust Cone Step Mapping by Bán and colleagues (2024) addresses three practical weaknesses: an arbitrary minimum step, unsafe interpolation of cone apertures, and approximate relaxed-cone generation.⁵ The proposed changes use a step tied to the next bilinear-cell boundary, a minimum filter on cone parameters, and an exact relaxed-cone construction in the paper's formulation. These improve robustness, although the authors acknowledge that the cell-based step can still omit features smaller than the ray span within a cell. The work highlights the need to analyse stored data, filtering and traversal together.

3 Baboud, L., Eisemann, E., & Seidel, H.-P. (2012). Precomputed safety shapes for efficient and accurate height-field rendering. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(11), 1811–1823. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.281>

4 Valasek, G., & Bán, R. (2022). Quick cone map generation on the GPU. In *Eurographics 2022—Short Papers* (pp. 13–16). The Eurographics Association. <https://doi.org/10.2312/egs.20221021>

5 Bán, R., Valasek, G., Bálint, C., & Vad, V. A. (2024). Robust cone step mapping. In *Eurographics Symposium on Rendering*. The Eurographics Association. <https://doi.org/10.2312/sr.20241146>

Thus, the single-crossing property of relaxed cones must be established by preprocessing. More binary-search iterations cannot recover a first hit already skipped during traversal.

A different representation places distance information throughout the relief volume. Donnelly's distance mapping stores a three-dimensional distance texture and advances rays using the distance to the nearest surface.⁶ At an exterior point, this distance is the radius of an empty sphere centred on that point. Any ray direction can travel within this sphere without reaching the surface. The texture stores a distance value; it does not explicitly store a sphere mesh.

The contrast is where these descriptions are indexed. A cone is anchored to the surface and reconstructed from a two-dimensional lookup. A distance sphere is centred at a position in the volume, so its value depends on three coordinates. Figure 4 illustrates both layouts and an example of their storage requirements.

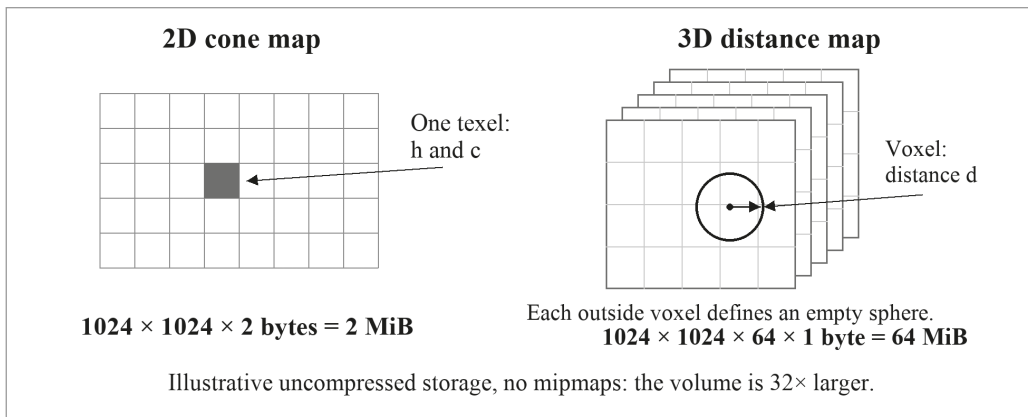


Figure 4. Surface-indexed cone data and volume-indexed distance data. Storage values are calculated examples, not experimental measurements

For a map, an 8-bit height channel and an 8-bit cone channel occupy 2 MiB together. A distance volume with the same horizontal resolution, 64 depth slices and one 8-bit channel occupies 64 MiB. This is a factor of 32 before mipmaps or other material textures. The example compares data sizes, not equal reconstruction accuracy; different precision, compression or sparse storage would change the ratio.

⁶ Donnelly, W. (2005). Per-pixel displacement mapping with distance functions. In M. Pharr (Ed.), *GPU Gems 2* (pp. 123–136). Addison-Wesley.

Thus, dense three-dimensional distance textures can be substantially larger, even with relatively few depth slices. Cone maps exploit the restricted structure of a height field to avoid this extra sampling dimension. Neither format alone guarantees safe GPU evaluation: reconstructed cone bounds and sampled distance bounds must remain conservative where required. A distance overestimate could permit a sphere step to cross the surface, just as an excessively wide cone could permit an unsafe advance.

Fast traversal and accurate hit localisation solve different parts of the problem. A large conservative step certifies the region already traversed, but does not automatically provide an inside endpoint for refinement. The next stage must either establish a valid interval around the first hit or locate the first relevant surface cell. Figure 5 contrasts a useful refinement interval with an interval that has already skipped a narrow feature.

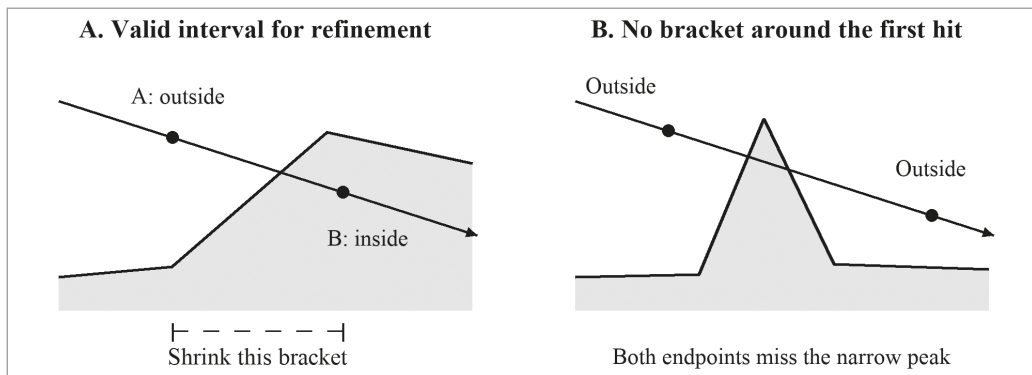


Figure 5. Refinement requires a valid first-hit interval. Two exterior endpoints can conceal two surface crossings

Let the signed height residual be r . Positive values indicate free space and negative values indicate the virtual solid. Once an interval $[a, b]$ is known to enclose the first crossing, with $r(a) > 0$ and $r(b) < 0$, binary refinement reduces its width according to

$$b_k - a_k = \frac{b_0 - a_0}{2^k}. \quad (3)$$

For example, an initial parameter interval of width $b_0 - a_0$ becomes $(b_0 - a_0)/2^5$ after five bisections. This improves localisation within the interval; it does not prove that an earlier intersection was never skipped. A sign change alone also does not establish that the interval contains only one root.

A promising direction is to combine conservative traversal with refinement that reflects the locally reconstructed surface. A safeguarded secant step could

estimate a hit from the endpoint residuals, with bisection used whenever progress is inadequate. Alternatively, once the relevant bilinear cell is isolated, the ray can be intersected with that patch. Substitution of a linear ray into a bilinear height function produces a polynomial of degree at most two. Any resulting root must lie inside the cell and the admissible ray interval; the earliest valid root is selected. These established numerical ideas should be evaluated without weakening traversal safety.

An improvement should reduce the total cost of a reliable visible point, including arithmetic, texture reads and control flow. An adaptive transition to refinement could depend on cell size, projected uncertainty and viewing angle. Near sharp ridges, even a small hit error can reveal a different feature. Such a policy needs a conservative fallback when local assumptions fail.

Representation detail could also follow local shape: simple cones for broad regions, additional parameters for complex relief. The resulting steps must remain empty or satisfy a single-crossing condition. Figure 6 illustrates the latter: a correctly constructed relaxed cone guarantees at most one crossing for supported descending rays, even though it overlaps the solid.

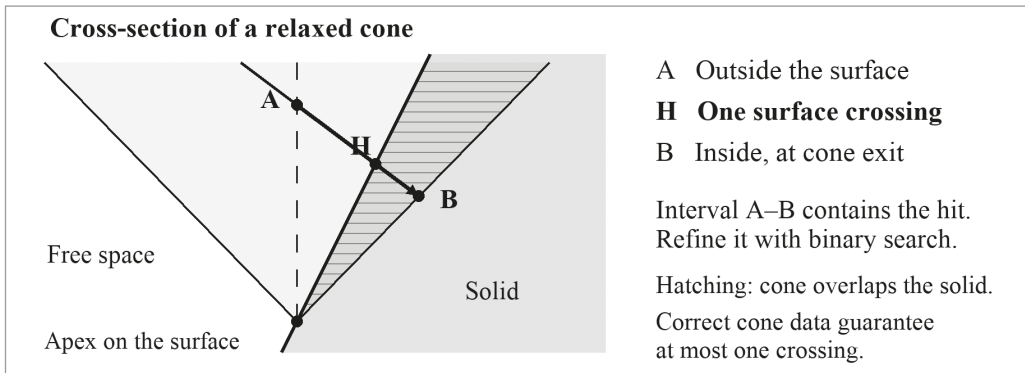


Figure 6. A relaxed cone permits one crossing and provides an outside–inside interval for refinement.

Filtering must preserve geometric bounds. Quantisation, texture boundaries, mip selection and changes in relief scale should be checked against the surface reconstructed at runtime. For animated height maps, the cost of rebuilding auxiliary data also enters the frame budget.

An engine-agnostic evaluation could compare uniform marching with refinement, conventional cone stepping, and a robust cone-based baseline on identical height fields. Test cases should include narrow peaks, grooves, smooth

slopes and irregular stone at frontal and grazing angles. Measurements should cover intersection error, missed first hits, temporal stability, GPU time, texture fetches, memory and preprocessing cost. Reference intersections must use the same interpolation rule. These directions remain research questions until comparisons demonstrate an improvement.

Compact geometric descriptions of free space can preserve surface detail without dense geometry or large volumetric textures. Their development should connect reliable spatial bounds with precise local intersection, preserving both speed and correct visibility.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-207-214

Oleksandr ROMANYUK,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0000-0002-2245-3364

Iryna SATSYUK,

Student,
Vinnytsia National Technical University
ORCID iD: 0009-0005-0130-6233
Ukraine

ANALYSIS OF DEVELOPMENT DIRECTIONS OF VIDEO CARD ARCHITECTURES

A modern video card is a complex specialized computing system, the functional purpose of which has long gone beyond the classical formation of two-dimensional and three-dimensional graphics. It combines a graphics processor, local video memory, a multi-level caching system, memory controllers, video encoding and decoding units, display controllers, data exchange interfaces with the central processor, a power management system and a set of specialized computing modules. The main element of a video card remains the GPU, however, it is advisable to consider a modern GPU not as a separate graphics accelerator, but as a heterogeneous multiprocessor system optimized for massive parallelism. This approach corresponds to the general trend in the development of computer architectures, in which, along

with universal processors, vector, graphic and object-oriented accelerators are becoming increasingly important¹.

The evolution of graphics card architecture is characterized by a gradual transition from a rigidly fixed graphics pipeline to a programmable structure with a large number of identical execution elements. The first 3D accelerators contained separate hardware blocks for geometric transformations, rasterization, texturing, and color calculations. This organization was effective for a certain set of operations, but did not adapt well to changes in the structure of the graphics load. The emergence of programmable vertex and pixel shaders changed the approach to building GPUs: some of the functions that were previously implemented by fixed logic became possible to specify programmatically. The next step was the formation of unified shader blocks capable of executing different types of programs depending on the current stage of the graphics pipeline.

The basic direction of GPU development remains the increase in parallelism. Graphics tasks naturally allow simultaneous processing of a large number of vertices, fragments, pixels, texture samples and rays. That is why GPUs are focused on high throughput, and not on the minimum delay of execution of one sequential thread. In practical implementation, SIMD- and SIMT-like principles are used, according to which one instruction or one sequence of instructions is executed over a group of data elements or threads. A large number of simultaneously active threads also allows to hide memory access delays: while one group is waiting for the loading to complete, the scheduler can transfer execution resources to another group. Such an organization is one of the reasons for the high efficiency of GPUs not only in graphics, but also in numerical modeling and machine learning.

At the same time, a simple increase in the number of computational elements does not provide a proportional increase in performance. At a high level of parallelism, performance begins to be determined by memory limitations, the bandwidth of internal connections, the efficiency of thread dispatching, the size of the register file, and the nature of branching in the program. If neighboring threads execute different branches of a conditional operator, part of the computational resources may be temporarily unused. Similar losses

1 Hennessey JL, Patterson DA, Kozyrakis C. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 7th ed. Morgan Kaufmann, 2025. 936 p.

occur with irregular access to memory or excessive use of registers. Therefore, modern architectures develop not only quantitative characteristics, but also mechanisms for increasing the actual load of computational blocks: schedulers, work regrouping mechanisms, local memory operation, and means of hiding delays are being improved.

A striking example of the transition to a heterogeneous organization is the NVIDIA RTX Blackwell architecture. Its streaming multiprocessor combines universal CUDA cores, texture modules, local cache, register resources, Tensor Cores and other functional blocks, and at the GPU level, specialized RT Cores are additionally used. The architecture is focused not only on traditional rasterization rendering, but also on neural methods of image formation, reduced-precision calculations and hardware-accelerated ray tracing. The Blackwell technical description highlights neural shading, fourth-generation RT Cores, fifth-generation Tensor Cores, FP4 support and new power management mechanisms among the key areas². This shows that a modern GPU is turning into a system in which different types of blocks are specialized for different classes of operations.

Specialization of hardware modules is a natural response to the increasing complexity of graphics algorithms. A universal shader unit can theoretically implement many functions programmatically, but such an implementation is not always optimal in terms of power consumption and the number of clock cycles. If a certain operation is performed extremely often and has a stable structure, it is advisable to create a separate hardware accelerator for it. It is on this principle that texture modules, rasterization units, specialized ray tracing units, matrix accelerators, video encoders and decoders appeared in the GPU. As a result, the area of the crystal is divided between universal and object-oriented resources. The architect's task is to choose a ratio that provides the highest efficiency for the target class of applications.

One of the most notable areas of specialization has been hardware ray tracing. Classical rasterization remains a very effective way to build a frame, but the reproduction of physically plausible reflections, refractions, soft shadows and complex global illumination requires additional methods. Ray tracing allows you to directly model the propagation of light, but requires

2 NVIDIA Corporation. NVIDIA RTX Blackwell GPU Architecture. Version 1.1. 2025. 57 p. URL : <https://images.nvidia.com/aem-dam/Solutions/geforce/blackwell/nvidia-rtx-blackwell-gpu-architecture.pdf> ((Accessed 19.09.2026)).

performing a large number of operations to find intersections of rays with geometric objects and bypass spatial acceleration structures. Performing all these operations with universal shader cores leads to significant resource consumption. Therefore, modern video cards contain specialized blocks that accelerate the most characteristic operations of the ray algorithm and reduce the load on the main shader array.

The spread of hardware ray tracing has formed a hybrid rendering model in which rasterization and ray tracing methods are used together. Rasterization provides high processing speed of the main geometry, while ray tracing is used for those effects where it gives the greatest gain in quality. This approach allows you to achieve a compromise between realism and frame rate. Further development of RT-blocks is associated not so much with a mechanical increase in their number, but with increasing the efficiency of working with complex geometry, dynamic scene structures and large arrays of rays. Of particular importance are mechanisms that reduce the divergence of flows and increase the locality of data access when bypassing acceleration structures.

In parallel with ray tracing, the integration of artificial intelligence tools is rapidly developing. Matrix calculations, which are the basis of modern neural networks, have high regularity and scale well on parallel hardware. The inclusion of specialized matrix blocks allows you to perform matrix multiplication and accumulation of results much faster compared to universal arithmetic devices. Initially, such modules were considered mainly as a means of accelerating machine learning tasks, but now they are increasingly integrated directly into the graphics pipeline. Neural models are used for frame scaling, detail reconstruction, smoothing, noise reduction of ray tracing results, generation of intermediate frames and restoration of visual information that does not necessarily have to be calculated in the traditional way at full resolution.

The integration of neural algorithms has led to the development of support for reduced-precision numerical formats. For traditional graphics, 32-bit and 16-bit floating-point formats are widely used, but for many neural inference operations, such precision is overkill. The transition to FP8, FP4, or related integer formats allows you to perform more operations in the same hardware area, reduce the amount of data transfer, and reduce power consumption. Importantly, reduced precision is used selectively: critical stages can operate

with higher precision, while massive matrix operations are performed in more compact formats. As a result, a modern GPU becomes a processor with flexible arithmetic precision, where the specific format is determined by the requirements of the algorithm.

AMD RDNA 4 demonstrates a similar trend. This generation of architecture improves the computational units, specialized ray tracing accelerators and AI accelerators, and the instruction set is focused on combining graphics and matrix loads. The official RDNA 4 reference describes the execution environment, organization of the program state and the capabilities of the new generation of computational units³. To analyze development directions, it is important not so much to compare the marketing indicators of individual models, but to note the general architectural pattern: universal shader resources are supplemented by specialized AI and RT modules, and the efficiency of the graphics processor is determined by the level of their integration into a single pipeline.

Another important trend is observed in the Intel Xe family. The Xe architecture covers solutions for integrated, discrete and high-performance graphics, and the Xe2 generation is used in high-performance graphics configurations. The Xe approach combines vector execution resources, matrix mechanisms and multi-level memory. The official oneAPI GPU Optimization Guide emphasizes that the performance of different Xe microarchitectures is determined by the combination of computational capabilities, cache sizes, supported data types, manufacturing technology and frequency characteristics⁴. So, in this case, we can see a transition from evaluating the GPU by a single parameter to a multi-factor analysis of the entire structure.

To summarize the main directions, it is advisable to compare the characteristic architectural accents of modern solutions. As can be seen from Table 1, in all three approaches the massively parallel universal computing array is preserved, but an increasingly complex system of specialized functional blocks is formed around it. This allows the GPU to be adapted to tasks that were previously either performed programmatically at great expense, or were not considered as part of the graphics pipeline at all.

3 Advanced Micro Devices, Inc. "RDNA 4" Instruction Set Architecture: Reference Guide. 2025. URL : [\(https://docs.amd.com/v/u/en-US/rdna4-instruction-set-architecture\)](https://docs.amd.com/v/u/en-US/rdna4-instruction-set-architecture). (09/19/26).

4 Intel Corporation. oneAPI GPU Optimization Guide. Intel Xe GPU Architecture. Version 2025.2. 2025. URL : <https://www.intel.com/content/www/us/en/docs/oneapi/optimization-guide-gpu/2025-2/intel-xe-gpu-architecture.html> (Accessed 19.09.2026).

Table 1

Typical architectural trends of modern GPUs*Source: summarized by the author*

Architectural direction	NVIDIA RTX Blackwell	AMD RDNA 4	Intel Xe/Xe2
Basic parallel structure	Streaming Multiprocessor	Compute Unit	Xe-core / execution resources
Ray tracing	RT Cores	Raytracing Accelerators	Hardware RT blocks
Matrix / AI computing	Tensor Cores	AI Accelerators	Matrix executive resources
Key development direction	Neural rendering, mixed precision	Combining graphics, RT and AI	Xe scalability and different GPU classes

The comparison shows that the development of graphics card architecture does not boil down to a single scheme, but the directions of evolution of different manufacturers coincide in essence. First, the universal parallel basis necessary for shader and general computing tasks is preserved. Second, the set of specialized modules is expanding. Third, multi-level memory, data locality and scheduling mechanisms are becoming increasingly important. Fourth, the role of software-hardware interaction is increasing: a modern GPU function is practically worthless without driver, compiler and API support. That is why new generations of graphics cards should be analyzed as complex platforms, and not as a set of separate computing units.

One of the most difficult architectural problems remains the memory subsystem. Increasing the number of execution elements makes sense only when they receive data quickly enough. Modern rendering simultaneously uses large texture arrays, geometry buffers, depth maps, ray tracing structures, neural network parameters and intermediate post-processing results. All this creates significant traffic between computational units and video memory. Therefore, the development of GPUs is accompanied by an increase in GDDR bandwidth, improvement of memory controllers, expansion of caches and introduction of hardware compression. In professional accelerators, a similar role is played by HBM, which provides a very wide data access bus.

Cache memory improvements are not only important for performance, but also for energy efficiency. Accessing a local register or cache requires significantly

less energy than accessing external memory. Therefore, increasing the effective capacity of the cache, optimizing its usage policy, and reusing already loaded data can provide significant gains without a proportional increase in frequency or bus width. A multi-level hierarchy that includes registers, local or shared memory, a first-level cache, specialized caches, and a second-level cache becomes one of the central elements of the architecture. Its quality is especially important for ray tracing and neural algorithms, where the working data sets can be very large.

A separate direction is the development of the geometric part of the pipeline. Realistic scenes contain more and more geometric primitives, and the traditional formation of a large number of separate drawing commands creates a load on the CPU. Therefore, modern graphics APIs and GPUs are focused on GPU-driven rendering, mesh shaders, clustered geometry representation, and hardware or software rejection of invisible elements. Some of the decisions that were previously made by the central processor are transferred closer to the graphic data. This reduces the number of exchanges between the CPU and GPU and allows processing more complex scenes. Coordination of the geometric stage with ray tracing is especially important, since increasing detail directly increases the requirements for spatial search structures and memory volumes.

Reducing process standards has long been the main way to increase the GPU transistor budget. However, further scaling of semiconductor production is becoming increasingly difficult and expensive. Large monolithic dies are expensive, more difficult to manufacture, and more dependent on the yield of usable products. One answer to this is the chiplet organization, in which the functions of a large processor are distributed across multiple dies. This approach is already actively used in high-performance computing accelerators and can potentially be more widely used in graphics systems. Its advantages are better scalability and the ability to combine dies manufactured using different process standards.

A critical limitation of modern graphics cards is power consumption. Increasing the frequency, number of execution units and memory bandwidth increases the thermal load and complicates the power system. Therefore, performance per watt becomes one of the key criteria for architectural quality. Dynamic frequency and voltage regulation, clock gating, power gating, local

shutdown of unused units and fast redistribution of the energy budget between subsystems are used. Specialization also increases energy efficiency: an operation implemented by a separate hardware accelerator often requires less energy than an equivalent sequence of universal instructions. A similar effect is provided by reduced precision and reduced memory traffic.

Another direction of development is to optimize the exchange between the central and graphics processors and increase the efficiency of performing heterogeneous tasks on a single GPU. A discrete graphics card has local video memory, so large data sets often need to be moved between system memory and VRAM via PCI Express. This creates delays and can limit the performance of tasks with frequent exchange. Modern systems develop unified addressing models, hardware support for virtual memory, and mechanisms for direct access to large data areas. At the same time, the role of hardware multitasking is growing: graphics shaders, computational cores, neural operations, and multimedia blocks can work in parallel, and schedulers must distribute resources between them without significant downtime. Therefore, the exchange speed, support for asynchronous queues, and the quality of dispatching become as important characteristics as the number of execution blocks.

Hardware complexity makes software-hardware coevolution increasingly important. Real-world GPU performance is determined not only by the microarchitecture, but also by the compiler, driver, graphics API, and application structure. The compiler must efficiently allocate registers, form thread groups, optimize memory access, and use specialized instructions. Graphics APIs are gradually incorporating ray tracing, mesh shaders, variable shader rates, and other capabilities of new generations of GPUs. Without appropriate software support, a hardware feature provides no practical benefit, so the development of the architecture and software ecosystem effectively becomes a single process.

A separate promising direction is associated with the transition from the monolithic organization of large graphics processors to a modular layout. As the area of the crystal increases, the yield of usable products deteriorates and the cost of manufacturing increases, so the distribution of functions between several crystals or chiplets becomes technologically attractive. For GPUs, such a transition is more difficult than for central processors, since the graphics pipeline requires extremely intensive exchange between executive units, cache and memory controllers. An effective multi-chip video card must hide inter-chip delays, provide high internal

interface bandwidth and minimize data duplication. Therefore, the development of chiplet approaches should be considered together with the development of large caches, hardware task distribution and new packaging technologies. In the future, modularity may allow computing, memory and input-output resources to be independently scaled, forming various GPU configurations based on common structural components.

Thus, the analysis of modern architectures shows that the development of video cards occurs simultaneously in several interconnected directions. The massively parallel structure of the GPU continues to scale, but the main increase in efficiency is increasingly provided not by a simple increase in the number of executive elements, but by specialization, flexible accuracy of calculations, improvement of the memory hierarchy, hardware ray tracing, matrix accelerators and intelligent resource management. At the same time, the role of energy efficiency, new layout technologies, software-hardware interaction and scaling to multiple devices is growing. It is the complexity of these changes that determines the current stage of GPU development.

The most significant trend is the formation of a heterogeneous architecture, focused not on a single rendering algorithm, but on the joint execution of rasterization, ray tracing, neural processing and general parallel computing. In such a system, performance is determined by the ability to quickly move data, load heterogeneous execution modules and select the most efficient type of hardware for each stage. Subsequent generations of graphics cards are likely to develop this heterogeneous model.

DOI: 10.51587/9798-9935-42874-2026-029-214-222